The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	マンマシン協調業務における知識処理方法に関する研究
Author(s)	斎, 礼
Citation	大阪大学, 2000, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.11501/3169421
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

マンマシン協調業務における

知識処理方式に関する研究

平成 11 年 12 月

斎　　礼

①

マンマシン協調業務における
知識処理方式に関する研究

平成 11 年 12 月

斎　　礼

内容梗概

本論文は、筆者が1988年から現在まで(株)日立製作所システム開発研究所ならびに1997年から現在まで大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻在学中に行ってきた、マンマシン協調業務における知識処理方式に関する研究成果をまとめたものである。

近年、市場のニーズにマッチした製品、サービスを、タイムリに市場に提供するために、製品、サービスの提供者の中では、特に、ビジネスサイクルにおける計画業務において、知識工学を適用したマンマシン協調アプローチによる業務支援に対するニーズが高い。計画過程における専門家が、刻々移り変わる計画の前提となる条件や情報をタイムリーに取り込み、限られた時間の中で計画を立案、あるいは修正するために、基本的で既にオーソライズされている定型的、手続き的な方法を用いるだけでなく、長年の市場分析経験をもとにしたアドホックな方法を適宜用いて業務を遂行するためである。

そこで、本研究では、実用的なシステム構築のために専門家の意図や理解から外れないように知識ベースの構築を行う、という観点から、下記の3つの課題を解決することを目的とする。

(1)知識工学アプローチの中でマンマシンのタスク分担を円滑に行うために、計算機が何をやっているか専門家が理解できるように知識ベースを構築する方法。

(2)マンマシンのタスク分担における専門家の業務を支援するために、テキストでは表現しにくい環境情報を業務に関係づけて計算機に取込み、業務を効率良く遂行するために必要な知識として利用可能とする方法。

(3)構築した知識ベースを、専門家の業務ペースに合せて高速に処理する方法。

上記の目的を達成するために、本研究では、知識工学アプローチにおけるマンマシン協調を、専門家の業務ペースに合わせてレスポンス良く行うために、まず、専門家の知識の一部を代替知識で置換えてルールで記述することにより知識ベースを構築する。次に、専門家が構築した知識ベースを持つエキスパートシステムを用いて業務を行った結果と、手作業で業務を行った結果とを比較することにより、構築した知識ベースを用いたマンマシン

協調による専門家支援の有効性を評価する。さらに、構築した知識ベースを分割処理することによる知識ベースの高速処理方法を提案する。さらに、業務を効率よく遂行するために必要な環境情報を、イメージ情報を用いて計算機に取り込む手法を提案する。これらにより、専門家が限られた業務時間内に、計算機を用いて課題に対するその時々の解を見つけることのできる業務支援方法を実現する。

本論文は、全５章から構成される。

第１章の序論では、知識工学アプローチによるマンマシン協調業務を実現するために、構築する知識ベースに対する専門家の可読性、専門家が環境情報を計算機に取込むこと、及び構築した知識ベースを専門家の業務ベースに併せて高速に処理することの重要性と解決すべき課題を述べ、従来研究を概観するとともに、本論文の目的と位置付けを明らかにする。

第２章では、購買履歴の重回帰分析を基本とする顧客セグメンテーション業務を取り上げ、汎用の重回帰分析パッケージソフトウェアへの入力情報となる説明変数の取捨選択を支援するエキスパートシステムの知識ベースを、バックトラックを起こさないで説明変数を順次削除する代替知識を用いて構築した内容を示す。さらに、構築したエキスパートシステムを、通販業の顧客セグメンテーション業務における売上高予測式作成作業に適用して、構築した知識ベースを用いた分析結果と専門家の手作業による分析結果とを比較評価し、その有効性を示す。

第３章では、現場の環境情報を計算機に取込んで、すでに計算機の中にある情報(知識)と併せて業務で用いるための手書きメモ入力システムを提案する。具体的には、業務アプリケーションプログラムの任意の画面全面に手書き文字が入力可能な手書きメモ入力機能、および手書きメモのベクトル情報を業務アプリケーションプログラムのイメージ画像と合成して一つのイメージメモを作成、保存するイメージメモ管理機能を提案する。さらに、提案システムを電力設備の保守業務に適用する場合の業務支援方式を考察する。

第４章では、バックトラックを起こさない代替手順等を用いて手続き的に処理を行うように構造化して構築した知識ベースを分割処理することによる高速処理方法について提案する。事例として、変種変量生産における製造工程スケジューリング業務の支援問題を取上げ、推論中に組合せ計算のための条件照合処理が多く発生する部分ほど条件照合範囲を限定する手法を提案する。さらに、提案方法にもとづいて構築したエキスパートシステムを用いて、その処理内容毎の処理時間を分析し、提案方法の有効性を示す。

最後に、第５章では、結論として本研究で得られた成果を要約し、今後に残された課題について述べる。

関連発表論文

A．学術論文誌論文

1. 斎礼，矢島敬士，増位庄一：変種変量生産におけるスケジューリングエキスパートシステム構築のためのルールベース構造化方法，情報処理学会論文誌，Vol. 33, No. 11, pp. 1314-1321 (1992)

2. 斎礼，水野浩孝，矢島敬士，薦田憲久：通販業における需要予測支援のためのエキスパートシステムの開発と評価，電気学会論文誌Ｃ分冊，Vol. 118, No. 2, pp. 242-248 (1998)

3. 斎礼，矢島敬士，広瀬正，薦田憲久：保守／渉外業務支援向け携帯端末用手書きメモ入力システムの開発と配電設備巡視業務への適用，電気学会論文誌Ｃ分冊，Vol. 119, No. 12, pp. 1542-1547 (1999)

B．国際講演

1. C.Yasunobu, R.Itsuki, H.Tsuji, and F.Mori : Document Retrieval Expert System Shell with Worksheet-based Knowledge Acquisition Facility, in *Proc. of the 13th Annual International Computer Software & Applications Conference* (*COMPSAC '89*), pp.278-285 (1989)

2. R.Itsuki, H.Yajima, and S.Masui : High Speed Scheduling by Dividing Knowledge on the Scheduling, in *Proc. of 1990 JAPAN-U.S.A. Symposium on Flexible Automation*, pp.1151-1154 (1990)

3. R.Itsuki, H.Yajima, H.Mizuno, and H.Kinukawa : Application and Verification of Using Statistical Analysis Tool and Expert System together in Multiple Regression Analysis, in *Proc. of 1996 IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation*, pp.629-635

(1996)

4. H.Yajima and R.Itsuki : Constraint Relaxation Method in a Scheduling Expert System by using Multi-attribute Utility Function, in *Proc. of 1992 JAPAN-U.S.A. Symposium on Flexible Automation*, pp.1101-1104 (1992)

5. R.Itsuki, H.Yajima, and T.Hirose : Interface Design Method for Mobile Information System with Two Types of Communication Channel, in *Proc. of 1997 IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation*, pp.109-114 (1997)

6. H.Yajima, Y.Yoshikawa, H.Okuda, R.Itsuki, and T.Hirose : Integrated Display Method of Heterogeneous Multimedia Information for Strategic Planning Systems, in *Proc. of WWDU'97 (Fifth International Scientific Conference on Work With Display Units)*, pp.133-134 (1997)

7. T.Sakaguchi, R.Itsuki, T.Hirose, and H.Yajima : Multimedia Annotation Functions for Visual Workflow System, in *Proc. of WWDU'97 (Fifth International Scientific Conference on Work With Display Units)*, pp.145-146 (1997)

8. H.Kojima, T.Yuasa, H.Yajima, and R.Itsuki : Information Organizing and Sharing Method in Business Media Service for Virtual Manufacturing Enterprise, in *Proc. of the IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, pp.307-312 (1998)

9. R.Itsuki, H.Yajima, H.Mizuno, H.Kinukawa, and N.Komoda : Expert System for Sales Forecast in Mail Order Business, in *Proc. of IFAC LSS'98*, pp.731-736 (1998)

10. M.Mori, R.Itsuki, H.Tsuru, H.Kitajima, and H.Yajima : Proposal of Application Architecture in Electronic Commerce Service between Companies, in *Proc. of International Workshop on Advance Issues of E-Commerce and Web-Based Information Systems*, pp.46-49 (1999)

11. Y.Mizuno, R.Itsuki, H.Tsuru, and H.Yajima : A Business-to-business Media Service Framework on Extranet and its Settlement Support Application, in *Proc. of the IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, pp. I -904- I -909 (1999)

C．国内講演

1. 安信千津子，斎礼，森文彦：検索型エキスパートシステムとその基本構造に関する一考察，第２回人工知能学会全国大会，pp. 341-344 (1988)

2. 斎礼，安信千津子，森文彦：検索型エキスパートシステムの知識ベース構築支援に関する一提案，第３８回情報処理学会全国大会，pp. 563-564 (1989)

3. 斎礼，矢島敬士，増位庄一：スケジューリング高速化のための知識分割処理方式，第３９回情報処理学会全国大会，pp. 149-150 (1989)

4. 斎礼，矢島敬士，増位庄一：計画知識の分割処理による高速スケジューリング方式，第４０回情報処理学会全国大会，pp. 234-235 (1990)

5. 斎礼，矢島敬士，増位庄一：計画知識の分割処理による高速スケジューリング方式，第３３回自動制御連合講演会，pp. 411-412 (1990)

6. 矢島敬士，斎礼，奥出聡，増位庄一：スケジューリングエキスパートシステムにおける制約条件緩和方式，第３３回自動制御連合講演会，pp. 417-418 (1990)

7. 矢島敬士，斎礼，奥出聡，増位庄一：スケジューリングエキスパートシステム構築のための知識構造化法，第３４回システム制御情報学会研究発表講演会，pp. 491-492 (1990)

8. 斎礼，矢島敬士，増位庄一：スケジューリングエキスパートシステム高速化のためのルールベース分割方法の提案，平成３年電気学会全国大会，pp. 6-153-6-154 (1991)

9. 矢島敬士，斎礼，森圭子，増位庄一，奥出聡：スケジューリングエキスパートシステムにおける多属性効用関数を用いた制約条件緩和方式，平成３年電気学会全国大会，pp. 13-28-13-29 (1991)

10. 斎礼，新崎義雄，広瀬正：「人と人との交信」のための手書きメモインタフェースシステムの構築，第４８回情報処理学会全国大会，pp. 3-293-3-294 (1994)

11. 斎礼，吉村光彦，広瀬正，矢島敬士：手書きメモインタフェース向け定型／非定型データ融合モデルの一考察，第５５回情報処理学会全国大会，pp. 4-45-4-46 (1997)

D．解説、他

1. 小島保郎，奥出聡，斎礼：ポリエステル樹脂工程スケジューリングエキスパートシステム－日本触媒化学工業株式会社－，日立評論，Vol. 72, No. 11, pp. 83-88 (1990)

2. 斎礼，辻洋，矢島敬士：企業間電子取引の話題と動向，(社)生産技術振興協会・大阪大学生産技術研究会，ハイテク推進セミナー，pp. 59-70 (1997)

3. 斎礼，桃木典子，鎌田芳栄，八田直久：企業間ビジネスアプリケーションを提供する“TWX-21”－サプライチェーン マネジメント システムへの適用－，日立評論，Vol. 81, No. 8, pp. 27-32 (1999)

目　次

第１章　序論

1.1　はじめに ・・・

第５章　結論
5.1　本研究のまとめ ・・・

の方法では解を見出せなかったり、取るべき方策を一つに決めきれない場合、専門家が次に取るべき方策を適切に判断するために、環境情報をタイムリーに参照して活用することが、質の高い計画を行うための重要な要因になる。一方、計算機のタスクは、専門家の計画知識を記述した知識ベースを持つ業務支援システムにより、専門家の入力した計画条件にもとづく計画案の作成／修正処理を行うことである。このタスク分担により、専門家は限られた業務時間内に出来るだけ所望の状態に近い計画を得る。

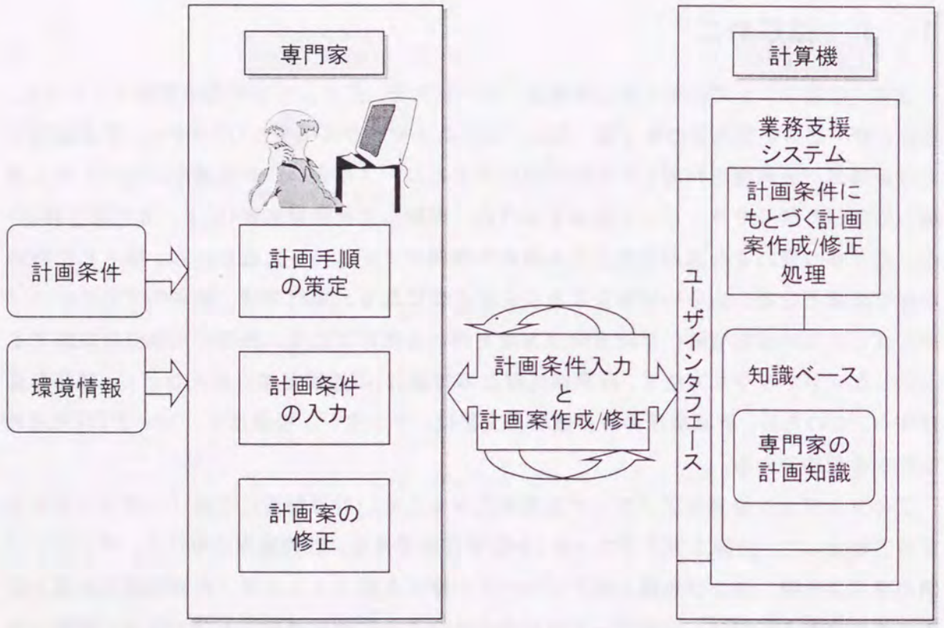


図 1.1 マンマシン協調型知識工学アプローチによる業務支援の概要

上記のマンマシン協調型の知識工学アプローチを実業務に適用しようとする場合には、以下の３つの点を考慮する必要がある。

(1)マンマシン間のタスク分担が変わることを考慮した知識ベースの構築方法

マンマシン間の一般的なタスク分担方法に関しては、問題解決における人間の行動をモデル化し、その一部を計算機処理に置換える方法が一般的である。たとえば、ラスムッセンの人間行動の制御に関するモデル[7]は、ルールベースレイヤの定型的なルールを計算機側において計算機が処理し、直面したことのないような状況における知識ベースレイヤの判断を人間が行うというタスク分担を表現している。

上記の前提を知識工学アプローチに適用すると、実システム構築の際には、次のような問題があることがこれまでの知識ベース構築から明らかになっている。一つは、考慮すべき前提条件が多い場合には、構築の初期段階に前記のルールベースレイヤの定型的なルールと知識ベールレイヤの判断を行う非定型的な知識とを明確に区別することが難しいという問題である[8-10]。その結果、業務の遂行に十分な定型的なルールを抽出することが困難なため、質の高い計算機処理結果を得ることが出来ない場合が多い。一方、上記知識ベースレイヤの処理に関しては、専門家でさえも高次の概念レベルに立ち戻り、種々の方法を試して結果を比較してみないと次に取る方策を明示できないことが多い。このため、質の高い知識を、知識ベース構築の初期段階で定型的なルールとして知識ベースの中に組込むことは一般的には難しい。この場合、知識ベースを構築する過程でさまざまなケースを分析しないと、ルールとして計算機に記述することが出来ない。さらに、知識が曖昧性かつ不確実性[11-13]を持っているため、専門家であっても環境条件が明確になった時点でないと取るべき手段が明確に出来ない。

このため、システム構築の過程、あるいはテスト運用の中でタスクの分担を見極めて補正していくことが必要となる。したがって、構築プロセスを円滑化するためには、マンマシン役割分担そのものが構築の過程で変わることを前提に、予め知識ベースの構造化を意識した構築プロセスとそれに対応したシステム構造を考えることが必要である。

(2)環境情報を計算機へ入力する手段を提供すること

環境情報のタイムリーな参照を実現するために、環境情報を容易に計算機に取り込む工夫が必要である。環境情報は、専門家が見れば分かるが、テキストや数値に置換えて表現することが難しいため、計算機に取り込み難い。しかも、入力した環境情報をタイムリに参照するためには、業務や既存の業務支援システムと整合性を保って環境情報を取込む必要がある。そこで、業務に支障をきたさないように短時間で容易に環境情報を計算機に取込み、かつ、参照できるような工夫が必要である。

(3)計算機処理を専門家の業務ペースに合わせてレスポンス良く処理すること

限られた業務時間内に、正確に、より良い結果を出すためには、計算機側のタスクの処理を効率良く行う工夫が必要である。計算機とのタスク分担を実用化するためには、専門家が業務における自分の作業ペースを崩すことなく業務遂行出来ることが望ましい。環境条件の変化に対応できないような場合、計算機処理時間が専門家に長い処理待ちを頻繁に引き起こすと、専門家がその業務の一部として計算機を使うことに意味がなくなる場合が生じることがある。このため、計算機側の処理を、専門家の作業ペースに合わせて迅速に行わせることが必要である。

上記目的を考える時、専門家から獲得した知識を処理の効率化を考えて一旦再構成した後で知識ベースに記述することが必要な場合がある。一般的に、計算機に取り込む知識が多くなるに従って、処理する場合の数が増えるので処理が遅くなる。このため、専門家からヒアリングした知識をそのまま計算機処理することは、必ずしも合理的であるとは限らない。

本論文では、上記の考察をもとに、実用的なシステム構築のために専門家の意図や理解から外れないように知識ベースの構築を行う、という観点から、下記の３つの課題を解決することを目的とする。

(1)知識工学アプローチの中でマンマシンのタスク分担を円滑に行うために、計算機が何をやっているか専門家が理解できるように知識ベースを構築する方法。

(2)マンマシンのタスク分担における専門家の業務を支援するために、テキストでは表現しにくい環境情報を業務に関係づけて計算機に取込み、業務を効率良く遂行するために必要な知識として利用可能とする方法。

(3)構築した知識ベースを、専門家の業務ペースに合せて高速に処理する方法。

１．２　本研究の背景

本節では、１．１節で述べた３つの課題に対する、既存研究のアプローチとその問題点について述べる。

1.2.1 タスク分担を円滑に行うための知識ベースの構築

従来、知識工学アプローチにおけるマンマシン協調の課題の解決は、専門家の知識を忠実に計算機で再現するための知識表現の工夫と、専門家が計算機を利用する際に動的に知識を計算結果に取込むことを目的としたマンマシン間のインタフェースの工夫によって行

われてきた。具体的には、従来の一般的な知識ベース構築手順[4]の過程での知識獲得方法や知識構造化方法の改善によるもの[14,15]、適用分野(ドメイン)を限定した構築支援ツールの構築によるもの[16,17]、予め複数用意した統計的解決手法を選択する形式のもの[18]などがある。

知識ベース構築手順の過程での知識獲得方法を改善する手法については、計算機との対話形式インタビューにもとづく方法[14]、汎用的なタスクを準備する方法[15]など、種々の方法が報告されている。しかし、対話型インタビューにもとづく方法では、比較的限られた時間内に、また予め限られた範囲の前提条件をもとに専門家からの知識を抽出するもので、業務に必要な環境条件の変化を十分に考慮した知識の抽出を行うことには難しい。汎用的なタスクを準備する方法では、専門家より得られた知識を予め準備されたタスクを用いて再構成する必要があるため、用いるべき汎用的なタスクを明確にするのが困難であったり、再構成して構築した知識ベースが専門家にとって分かり難かったりする。

適用分野を限定した構築支援ツールを構築する手法に関しては、その分野特有の知識を予め計算機処理プログラムに組込んだ、いわゆるドメインシェル[16]を構築することにより、システム構築の効率化を図るものである。しかし、ドメインに特化した知識の記述を加えるほど他のドメインへの適用が困難となり、結局専門家の問題解決方法をドメインシェルのそれに合わせざるを得ず、専門家から見たシステムの分かり難さを生じたり、システム構築にかえって時間が掛かる。また、基本的に制約条件を限定した部分的な知識を計算機に記述して部分解を計算機に出力させ、専門家がそれを組み合せるために、時間軸をずらすような限定された条件緩和を行うという専門家と計算機との協調型システムを構築する手法においては[17]、専門家が一度に考慮して付加できる条件が限られるため、限られた業務時間内で一定の質の解を得ることは難しい。

また上記のように分野を限定するのではなく、予め複数用意した統計的解決手法を選択する形式のシステム構築に関しては、ルールベースを用いて、例えば、重回帰モデルのような分析手法や統計モデルそのものの選択を行う方法が報告されている[18]。しかし、予め準備されている手法が古典的な数学手法に沿って記述されているため、手法間の相関がない場合には、得られた結果を種々の環境条件に照し合せて別の手法で繰返し改善することは難しい。

1.2.2　環境情報を業務知識として計算機に取込む方法

業務を正確に効率良く進めるために、必要な環境情報を計算機に取込んで利用する方法に関しては、従来、カメラ等の撮影装置、計測センサを用いる方法[19]や、ペンとタブレ

ットのような入力デバイスを用いる方法[20]がある。

現場の状況をカメラ等で撮影することにより、画像として計算機に取込む方法[19]は、現状の生の情報をリアルタイムに得られる有効な方法である。また、取込んだ画像を計算機による認識処理[21,22]を行って計算機に理解させて自動的に処理する方法は、監視の対象となる点が多い場合等に、異常事態の発生をいち早く察知する必要がある場合に用いられている。しかし、この方法は、設備が巨大である場合、監視すべき点か多い場合等、多くの場合に巨大な設備投資が必要であるため、通常のオフィスや中小規模の生産設備で容易に使える方法ではない。また可搬性の面でもデメリットがある。

一方、ペンとタブレット、あるいはマウスのような入力デバイスを用いて、計算機に手書き文字やスケッチの形で直接環境情報を取込む方法[20]に関しては、近年、ペンインタフェースを有する計算機が用いられている[23]。ペンインタフェースを持つ計算機を用いると、現地で既にデータベース化されている情報を画面に表示して参照し、ペンを用いて現場で発生している情報をメモ書きして保存することができる。しかし、ペンインタフェースに関しては、入力した手書き文字や図形データを高速かつ正確にコード情報に変換できるかという機械認識技術[24]や、小さな字が書けるかどうかという、ペンインタフェースのハードウェア仕様に観点を置いた研究が中心であり[25-27]、計画過程における実業務での活用を想定した環境情報の入力方法およびその業務支援システムに関する研究は報告されていない。

1.2.3 知識ベースの推論処理の高速化方法

構築した知識ベースを高速に処理する方法に関しては、従来、実用的なエキスパートシステム[14,28-30]の構築において、専門家の知識を詳細に記述[31,32]しようとして知識ベースが比較的大規模になった場合に処理性能が劣化するという問題が取り上げられ、種々の処理アルゴリズム、およびその改善手法が提案されている[17,33-35]。例えば、製造装置の構成が複雑で製品の数が多い対象におけるスケジューリング問題においては、顧客からの受注(オーダ)のスケジューリングを行う際に専門家がチェックする製造装置や製品の属性が多い。このため、ルールやフレームの形式で知識ベースを記述するエキスパートシステム構築ツールを用いて、専門家のスケジューリングロジックを記述すると、ルール実行時の条件照合処理のために膨大なルールとフレームとの間のマッチング処理が必要となり、上記の問題が生じる。

従来の高速化方法は、上記問題に必ずしも有効と言えない。例えば推論アルゴリズムを改善する方式[33]は、対象問題によってその有効性が異なる。コンパイル方式を採用してフレームのスロット参照を高速化する方式[34]は、知識ベースが大規模になるとメモリの

点でハードウェアの制約を受けることがある。また、一部の制約条件のみをチェックした部分スケジュールをエキスパートシステムが短時間で出力し、専門家がそれらを修正あるいは合成する方式[17]は、制約条件数が多い場合や制約条件が独立に緩和できない場合には、スケジューリングが短時間で収束しないことが多い。

1．3　本研究の方針

本研究では、知識工学アプローチにおけるマンマシン協調を、専門家の業務ペースに合わせてレスポンス良く行うために、まず、専門家の知識の一部を代替知識で置換えてルールで記述することにより知識ベースを構築する。次に、専門家が構築した知識ベースを持つエキスパートシステムを用いて業務を行った結果と、手作業で業務を行った結果とを比較することにより、構築した知識ベースを用いたマンマシン協調による専門家支援の有効性を評価する。さらに、構築した知識ベースを分割処理することによる知識ベースの高速処理方法を提案する。さらに、業務を効率よく遂行するために必要な環境情報を、イメージ情報を用いて計算機に取り込む手法を提案する。これらにより、専門家が限られた業務時間内に、計算機を用いて課題に対するその時々の解を見つけることのできる業務支援方法を実現する。専門家の業務支援における本研究の位置付けを図 1.2 に示す。

知識ベースの構築は、汎用性かつ適用性に優れる、自然言語で表現できるＩＦ－ＴＨＥＮ形式のルールとフレームを処理することのできるハイブリッド型のエキスパートシステム構築ツール[29]を用いて行う。これにより、まず専門家による個々のルールに対する可読性を得る。その上で、専門家による計算機処理の内容や結果の理解を妨げないように、順次処理を行う知識を知識ベースに記述する[36,37]。知識の記述にあたっては、専門家自身が構築した知識ベースシステムを用いるという前提に立って、専門家から得た業務知識をもとに知識ベースを構築する際に、専門家に確認を取りながら順次処理を行う知識に置き換えるようにする。さらに、構築した知識ベースを持つエキスパートシステムを用いることが、専門家の業務に与える影響を評価する[38,39]。

業務を効率よく遂行するために必要な環境条件をイメージ情報を用いて計算機に取り込む手法に関しては、ペンインタフェースを有する携帯型の計算機を用いて、環境情報を手書きメモとして計算機に取込むための手書きメモ入力システムの構築方法を提案する。環境情報を計算機に取込む際にテキスト化することは、時間がかかり、かつかえって分かりにくくなる場合も生じる。このため、専門家が見て分かればよいという観点を重視し、入力した手書きメモを、計算機画面の業務アプリケーション画面と合成してイメージメモ情

報として管理する、手書きメモ入力／管理手法を提案する[40-43]。

構築した知識ベースの高速処理方法については、プロダクションシステムの処理アルゴリズムとして広く採用されているＲＥＴＥアルゴリズム[44]の改良アルゴリズム[45]を採用した汎用のエキスパートシステム構築ツールを用いた場合の、推論処理の過程におけるルールの条件照合処理を分析し、条件照合処理が多くなるルールの記述方法を抽出する。これより、抽出した記述方法に対応した条件照合範囲の限定処理方法を提案する[46-53]。

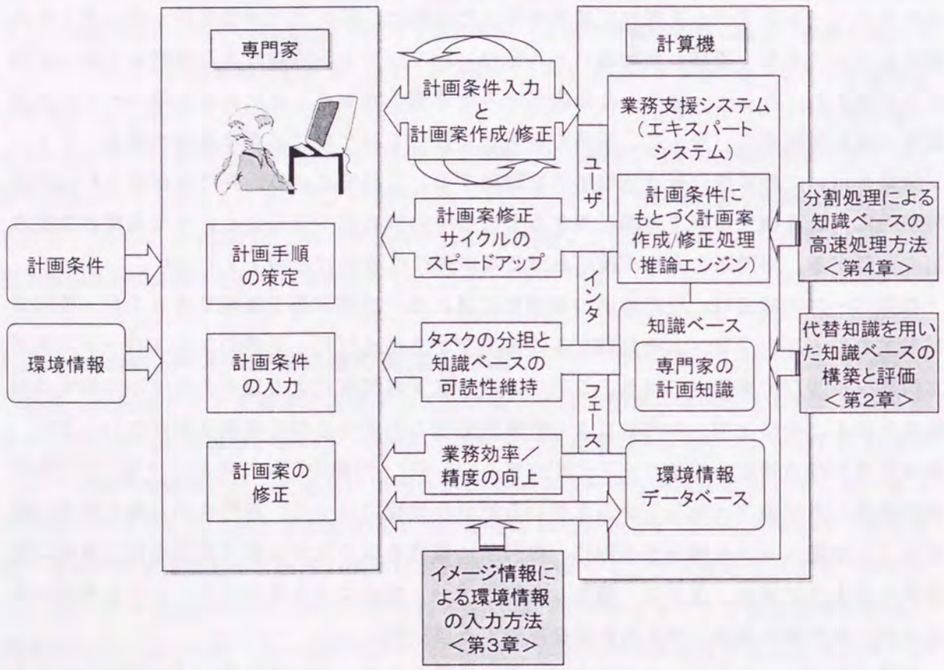


図 1.2 本研究の位置付け

1．4　本論文の構成

本論文では、第２章以降を以下のように構成する。

第２章では、購買履歴の重回帰分析[54-56]を基本とする顧客セグメンテーション業務[57,58]を取り上げ、汎用の重回帰分析パッケージソフトウェアへの入力情報となる説明変数の取捨選択を支援するエキスパートシステムの知識ベースを、説明変数の持つ属性値によって手続き的に順次自動的に削除する知識を用いて構築した内容を示す。さらに、構築したエキスパートシステムを、通販業の顧客セグメンテーション業務における売上高予測式作成作業に適用して、構築した知識ベースを用いた分析結果と専門家の手作業による分析結果とを比較評価し、その有効性を示す。

第３章では、現場の環境情報を計算機に取込んで、すでに計算機の中にある情報(知識)と併せて業務で用いるための手書きメモ入力システムを提案する。具体的には、業務アプリケーションプログラムの任意の画面全面に手書き文字が入力可能な手書きメモ入力機能、および手書きメモのベクトル情報を業務アプリケーションプログラムのイメージ画像と合成して一つのイメージメモを作成、保存するイメージメモ管理機能を提案する。さらに、提案システムを電力設備の保守業務に適用する場合の業務支援方式を考察する。

第４章では、バックトラックを起こさない代替手順等を用いて手続き的に処理を行うように構造化して構築した知識ベースを分割処理することによる高速処理方法について提案する。事例として、変種変量生産における製造工程スケジューリング業務の支援問題を取上げ、推論中に組合せ計算のための条件照合処理が多く発生する部分ほど条件照合範囲を限定する手法を提案する。さらに、提案方法にもとづいて構築したエキスパートシステムを用いて、その処理内容毎の処理時間を分析し、提案方法の有効性を示す。

第５章では、結論として本研究で得られた成果を要約し、今後に残された課題について述べる。

第２章

通販業における需要予測支援のためのエキスパートシステムの開発と評価

２．１　緒言

本章では、計画過程における専門家の実業務を支援するために、専門家の知識の一部をバックトラックを起こさない代替知識に置換えて知識ベースを構築したエキスパートシステム、および、このエキスパートシステムを適用して構築した分析システムの例を示す。さらに、適用事例において、専門家がエキスパートシステムを用いて業務を行った結果と、手作業によって業務を行った結果とを比較して評価する。適用事例として、通販業における売上高予測業務の一環である顧客セグメンテーション業務を取り上げ、顧客の履歴データを分析する汎用パッケージソフトウェアへの入力情報の取捨選択を支援するエキスパートシステムを構築する。

アパレル商品を取り扱う通販業においては、商品の需要(販売量)予測を精度よく行うことが重要な課題である。通販業では、店舗を持たず、顧客から葉書や電話によって注文を受ける。このため、百貨店のように顧客が店舗において直接商品を取捨選択することができないし、店員が他の商品を勧めるということもできない。顧客が注文した商品の在庫切れが起こらないようにしなければならない。一方で、通常のアパレル商品販売と同様に、多量の売れ残りが出ないようにすることも重要である。アパレル商品に対する人の嗜好(トレンド)は、一部のいわゆる“定番”と呼ばれる商品を除いて、コマーシャルメディア等、様々な要因の影響を受けて、半年や一年という短期で変わるという特徴がある。顧客の需要に対して過不足なく商品を取りそろえるための需要予測は、商品寿命が短いので長期間

の傾向から予測することは困難であり、トレンド変化に合わせて半年や一年というシーズン毎のサイクルで行わざるを得ない。

上記のような、シーズン毎の計画的な商品の生産、販売を行うために、通販業で主流となっているダイレクトマーケティングの分野では、データベースに蓄積した顧客の購買履歴等の顧客データを商品毎に重回帰分析[54,55]を用いて分析し、販売量を予測する方法が用いられている。重回帰分析では、説明変数の数を増やして、より多くの視点で分析することにより、予測精度の向上が狙えるという利点がある。計算機パワーの向上、低コスト化を背景に、ステップワイズ方式[56]等の分析アルゴリズムも考案され、多量のデータを母集団とした分析が可能となっている。

しかし、近年では、経験豊富な専門家が上記計算機分析を用いても、実用的時間内で満足な分析結果を得ることが困難になっている。

その背景としては、上記のように、通常のアパレル商品販売よりも精度のよい需要予測が要求されることに合わせて、トレンドが短期で変わり、また顧客の好みが個性化して来たため、分析時に選択する説明変数の組合せが変わりやすくなっていることが挙げられる。説明変数の組み合わせをトレンドの変化の毎に再構成するが、得られた予測式を評価した結果が悪いことが多い。また、分析をやり直す場合にも、各々の説明変数が直接分析に与える影響を把握できないので、結局各説明変数の追加・削除を試行錯誤でやり直さざるを得ないことも多い。

古典的需要予測手法であるエグゼクティブ陪審法等の主観的方法、指数平滑法等の時系列モデルを用いた客観的／定量的方法等、様々な予測手法[59]では、本章で対象とする「評価指標が多岐にわたる」問題には、有効な適用が難しい。また「熟練者のノウハウを多用して、状況に応じた解を得る」知識工学的手法の適用に関しては、ルールベースを用いて分析手法や統計モデルそのものの選択を行う方法が報告されている[60,61]が、個々の手法を効率よく短時間で行う工夫については検討されていない。また、知識ベースにより重回帰モデルの適用、評価を繰り返す手法[62]では、個々のモデルを定型的な数学的手法に従って記述しているため、説明変数の数が多い場合には、分析に時間がかかることが想定される。

本章では、上記従来方式の矛盾点を解決し、分析時間を実用レベルまで短縮することを目的として、ステップワイズ分析方式において、熟練した専門家の経験によって一度に複数の説明変数を追加・削除する分析方法をルールで表現した知識ベースを持つエキスパートシステムを構築する。さらに、専門家が構築したエキスパートシステム用いて業務を行った結果と、従来通り手作業で業務を行った結果とを比較して評価する。

以下、第２．２節では、通販業の需要予測を重回帰分析で行う場合の専門家支援問題について記述し、分析支援システム構築上の問題点を説明する。第２．３節では、問題解決のために構築したエキスパートシステムを適用した分析支援システムについて述べる。さらに、第２．４節では、構築したエキスパートシステムをあるアパレル商品の売上高予測式作成作業に適用した結果について考察、評価する。

２．２ 売上高予測における専門家支援問題

2.2.1 売上高予測作業の特徴

顧客にカタログなどの商品案内情報を送付し、顧客からのレスポンス(注文)により商品を発送する、いわゆるダイレクトマーケティング形式で商品を販売する場合を取り上げる。売上高予測は、通常、最も直近である前年同期の売り上げ履歴を分析して行う。さらに、分析結果を購買実績のある全顧客に適応して、最もレスポンスが高いと予測される顧客に商品案内を送付することで、商品の過不足が出来るだけ少ない販売促進活動を行う。

上記売上高予測式の作成作業には、ＲＦＭ（Recency：最新購入日、Frequency：購入回数、Monetary：購入金額）分析[57,58]が用いられることが多い。顧客の特性を詳細に分析するため、説明変数となる項目数を年齢、住居エリアなどの顧客の属性、商品グループ毎のＲＦＭなどの観点から増やして、顧客の購買行動をうまく説明する説明変数を重回帰分析により選び出して、売上高予測式を作成する。

商品案内送付顧客は、図2.1に示すように、一般に以下の手順で決定される。

(1)売上高予測式の作成

前年同期の商品案内送付後の購買実績についての特徴量データの中から、顧客の購買金額を最もうまく説明する説明変数を選び出す。予測式作成では、特徴量データを説明変数、そして購買金額を目的変数として重回帰分析を繰り返し行なう。

アパレル商品の企画から販売までにかかる期間は、多くの場合一年以上かかる。一年先を見越した需要予測を行わなければならないが、分析後にテスト販売するなど分析結果の検証を行わなければ分析結果の評価が難しいため、需要予測にかけられる時間は僅か数週間である。分析をより短時間で行うため、例えば類似特性を持つ対象商品をグループ化して分析を行い、相反する特徴を同時に分析する必要をなくすことで、各分類毎の分析を容易にする工夫をしている。

また、重回帰分析では、短期間でも傾向が変わる外的要因と購買履歴や好みなど内的要因の影響を同時に受けて変わる複雑な分析対象データの特性を多面的に分析するため、例えば年間／月間総数のように時間要因を加えて説明変数の数を増して分析観点を広げるなどの工夫をする。

(2)スコアリング

作成した予測式を、現在までの購買実績についての特徴量データに適用して、全顧客について、今回の商品案内送付後の購買予想金額を算出する。

(3)セレクト

前年送付した商品案内と今回送ろうとしている商品案内の相違、商品案内送付後に行う様々な販売促進活動の要因を考慮して査定し、上記購買予想金額を補正し、商品案内送付顧客を決定する。

現状で、モデル作成以外の業務(2)(3)には、それぞれ、商品案内発行毎に数10人日を要しているのに対し、(1)の予測式の作成には、他部署からの応援を含めた数百人日を要しており、格段に工数が多く期間短縮の要求が強い。このため、本章では上記(1)を用いた予測式の作成作業の支援を対象とする。

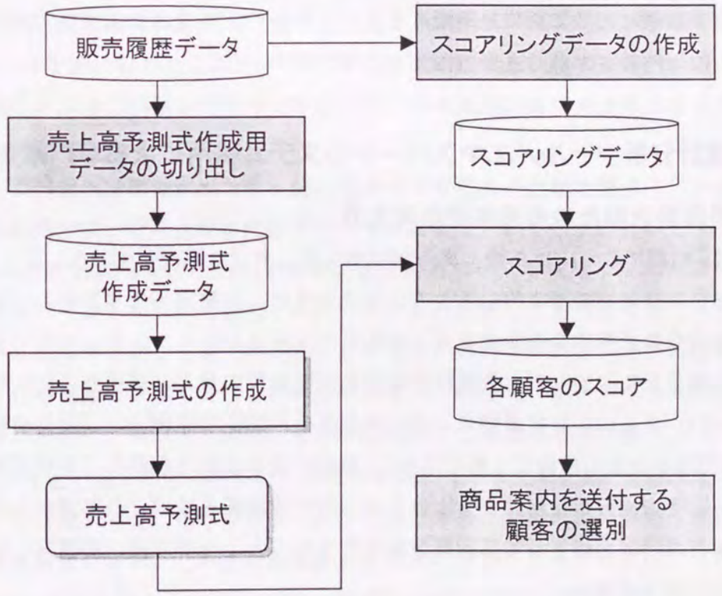


図2.1　通販業における商品案内送付顧客の決定手順

2.2.2　専門家が分析する上での問題点

上記特徴を反映して、専門家が重回帰分析手法を用いて予測式を決定する場合に以下のような問題が起る。

(1)説明変数の追加・削除を繰り返す過程で、次にどの説明変数を削除、あるいは追加すればより良い説明変数モデルが得られるのか分からなくなってしまうことが多い。個々の説明変数が回帰式に与える影響は、基本的にモデルに残された説明変数の組合せによって決まる。説明変数の追加・削除を繰り返すことによって、残った説明変数の組合せが変わるので、たとえ同じ説明変数を追加・削除しても、得られる結果は異なってくる。その結果、試行錯誤の繰り返しが生じ、各対象商品グループについて専門家が満足できる結果を得るまでに時間が掛る。

(2)市場におけるメディアやトレンドの影響を受けて、分析対象となる母集団、すなわち顧客データの特性は分析毎に異なっているため、予め設定された処理手順を実行する「固定的な分析手順」では、良い分析結果が得にくくなっている。

(3)上述したように、分析対象の特性が複雑かつ変わりやすいため、過去に良い結果を得ることができた分析方法を用いても、良い分析結果が得られるとは限らない。このため、分析のある途中結果に応じて別の分析観点を試してみることができるような工夫が必要である。

2．3 統計分析ツール／エキスパートシステム併用による専門家支援方法

2.3.1　問題解決のための基本的な考え方

本節では、前節で取り上げた売上高予測作業支援における問題に対して、図2.2の専門家と計算機のタスク分担の基本的な考え方に示すように、1)熟練した専門家の分析方法を調査して、説明変数を削除する知識をルール化したエキスパートシステムを構築することにより、重回帰分析に必要な説明変数決定作業を説明変数の数が10個程度になるまで計算機により行ない、さらに、2)計算機による説明変数の取捨選択履歴および統計情報を総て保存して、専門家が任意の段階で分析を中断し、分析の途中履歴を参照して説明変数の追加・削除を行い、その後分析を再開するという対話型分析機能を設け、計算機が作成した分析の途中結果を専門家が修正して重回帰分析を完了するという計算機と専門家との作業分担により、その解決を図る。

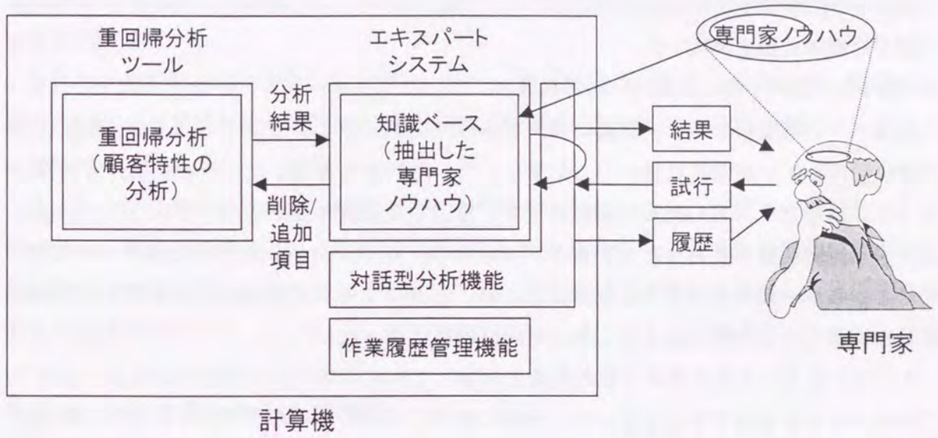


図2.2　専門家と計算機のタスク分担の基本的な考え方

これは、以下の理由による。

(1)知識ベースを用いることにより、一度に複数の説明変数を削除する専門家のノウハウ的な分析方法を計算機で模擬して実行できるので、作業時間短縮に効果を上げることが期待できる。

一方で、専門家が計算機が出力する統計情報よりも過去の経験を頼りにアドホックに作業を進める段階では、従来通り専門家が行う方が柔軟な分析を行うことができる。

(2)専門家の分析知識をもとにルール表記により知識ベースを構築したエキスパートシステムは、従来の手続き型言語で記述されたシステムと比較して専門家のなじみが良く、記述したルールの内容に対して専門家のコンセンサスが取れていれば、分析の途中で専門家が介在して途中結果を修正することが容易である。このため、ルールベースに記述した固定的な手順に加えて、専門家の柔軟な分析手順を試してみることができる。

(3)分析のある途中結果に応じて別の分析観点を試してみるためには、分析過程の情報を参照したり、分析をやり直したりできることが必要である。分析の際に参照しなければならない情報量は非常に多い。これらの情報をもとに次の分析を行うためには、専門家の意図沿って情報の選択表示や並び変えを行ったり、分析の段階の履歴を示すようなインタフェースが必要である。

2.3.2　専門家の分析支援のための知識ベースの構築

実際の専門家の手法を分析して、以下のように知識ベースを構築して計算機と専門家との間で処理の分担を実現した。

(1)専門家の分析手順と知識ベースの構築

知識ベース構築のために、複数の専門家から分析手法をヒアリングした。また実際に専門家に同席して分析業務に携わり、ヒアリングした内容を確認した。その結果、専門家によって、また分析対象の商品分類によって、着目する統計情報が異なっていたり、一度に削除する説明変数が変わったりするという具合に、ヒアリングした分析手法が、専門家の間で必ずしも一致しないことが分かった。特に分析のフェーズが進み、一度削除した説明変数を復帰させる段階になると、その傾向が顕著になった。

そこで、まず、分析の前半で説明変数を削除していく段階の分析手法のみをルール化して知識ベースに記述することにした。分析の前半においても、専門家によっては経験則を多用する場合はあったが、分析の初期の段階では、統計情報を見ながら少しずつ説明変数を削除していく方法は、代替案として専門家のコンセンサスが得られ、知識ベースに記述しても可読性を損なわないと判断した。

次に、説明変数削除のために着目する統計情報の値を調査し、その値を基準にして段階的に説明変数を減らすようにルールを設定し知識ベースに記述した。専門家は、基本的に自分の経験よりも統計情報に重点に置いて分析し、削除の基準となる統計情報の値を少しずつ刻んで変えながら削除する説明変数を決定している。例えば仮説棄却率の値を0.1ずつ減らしながら、条件を満たさない説明変数を順次削除する。通常は、数百個ある説明変数の数が1/20から1/30前後になるまで絞り込む。

また、説明変数の数を1/5程度から1/20～1/30程度に絞る段階では、専門家はいずれも統計情報と属性情報とを総合的に判断して削除する説明変数を決めていた。属性情報にもとづく判断は、専門家のノウハウそのものである。専門家に代わって説明変数の絞り込みを自動化するためには、有効なノウハウを入手して計算機に組み込むことが必要である。しかし、ノウハウがアドホックで、個人差が大きいため、インタフェースを通じて専門家が直接計算機に入力するという、対話型の支援形態を採用した。

(2) 分析インタフェースの構築

計算機による分析結果をもとに、専門家が説明変数の追加・削除を効率良く行うためには、追加・削除を行った各段階の結果を適時参照できるようにし、効果が得られそうな説明変数を専門家が経験をもとに判断し、優先的に追加・削除すればよい。

また、インタフェースを通じて説明変数を削除、復帰することにより分析を進めるため

には、前提となる統計情報、分析履歴を参照することが不可欠である。また、専門家の直感的な手法を分析結果に反映しやすくするため、分析の任意の段階へ直接戻れるようにする必要がある。

そこで、分析の過程で発生した情報は、全て蓄積するようにした。専門家は、任意の段階で残っている説明変数の統計情報の現況を参照できるとともに、任意の段階の分析結果を参照できる。

さらに、専門家が自分の分析履歴を容易に理解できるように、分析履歴を経路として表示できる一覧画面を設ける。専門家は何回目の分析結果から次の分析を再開したかという履歴情報を覚えておく必要はなく、インタフェースを通じて直感的に理解し、分析をやり直すことができる。

2.3.3　分析支援システムの機能

前述の考え方に基づいて構築したシステムのシステム構成および機能の概要を図2.3に示す。

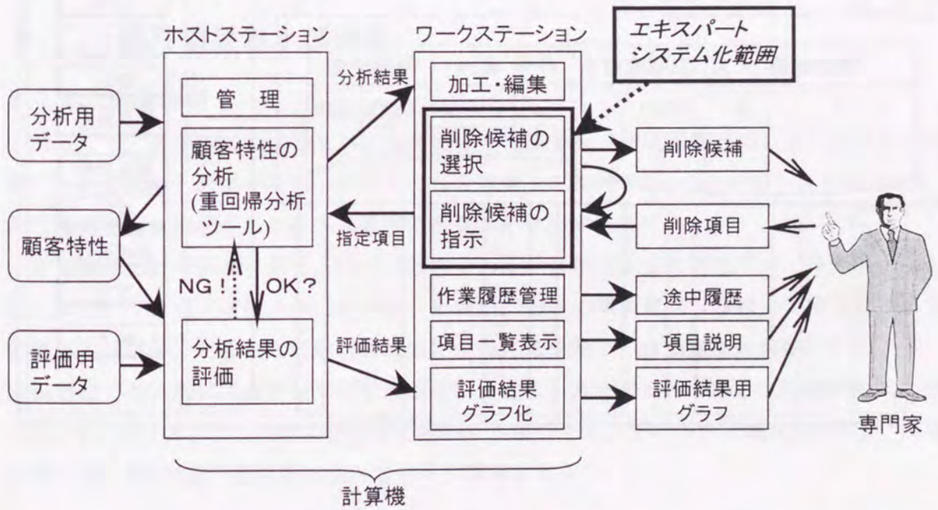


図 2.3　システム構成および機能

(1)重回帰分析結果の加工・編集

重回帰分析結果を、専門家の指示に従って、図2.4に示すように、説明変数の確率、相関関係、係数の符号など任意の基準に沿って並び替えて表示する。

(2)削除すべき説明変数の選択

知識ベースに記述したルールに従って、各説明変数の統計情報（確率、相関係数、係数の符号）を調べ、削除すべき説明変数を選択し、それらを削除候補として表示する。

削除候補と表示された説明変数は、次回の重回帰分析を実行する際に自動的に削除される。専門家が画面を見て、さらに削除候補として追加したい、あるいは削除候補からはずしたい説明変数があれば、図2.4に示すように、インタフェースを通じて設定(ここでは、「入力」項目欄に「S」を入力)することが可能である。

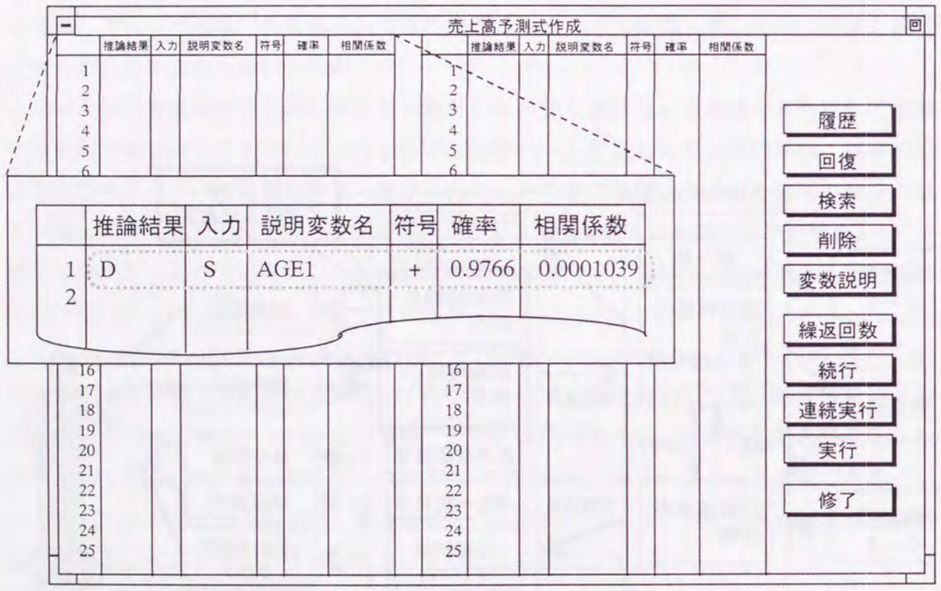


図2.4　重回帰分析結果の表示／修正インタフェース

(3)説明変数削除後の重回帰分析再実行

削除したい説明変数を除いた残りの説明変数について、重回帰分析を1回実行する。本機能と(2)の選択機能を組合わせることにより、「説明変数を一定個数ずつ自動削除してゆき、予め設定しておいた説明変数の数に減るまで実行を繰り返す」という連続実行機能を実現することも可能である。

(4)実行結果の履歴の蓄積、管理

分析過程で得られた分析結果および説明変数の削除履歴をすべて蓄積し、専門家の指示により、図2.5に示すように分析の任意の段階の分析結果を表示し、その分析に戻る。

(5)各説明変数の属性表示

各説明変数について、その説明変数の表わす意味、重回帰分析結果の中でその説明変数の持つべき正負の符号等を表示する。

(6)分析結果の評価実行

得られたモデルを別の集団に適用して実際の値との乖離度を知るための分析結果評価ジョブを実行する。

以下に、以上の重回帰分析支援機能を、アパレル商品の売上高予測式作成作業に適用した結果について考察、評価する。

2．4　適用結果および評価

2.4.1　適用事例

ここでは、実事例におけるアパレル商品の売上高予測式作成作業に対して、構築した知識ベースを実装したエキスパートシステムを適用して評価する。ここで売上高予測式とは、ある顧客の購買履歴をもとにその顧客の購買高を予測する式である。

本事例における商品の数は、約10,000点である。分析効率をあげるため、紳士服／婦人服の性別、ヤング／ミセスの対象年齢、小物類、顧客の購買履歴（金額、利用回数）から判断した顧客層、に着目して約50の商品グループに分類し、分類毎に分析を行う。

分析は、基本的にはＲＦＭ分析であるが、最近１ヶ月／３ヶ月のような時間的期間、過去5万円／10万円のような購入金額等を細かく分割してそれぞれの分析観点を増やし、初期状態では、約500個の説明数を用いて分析を開始する。

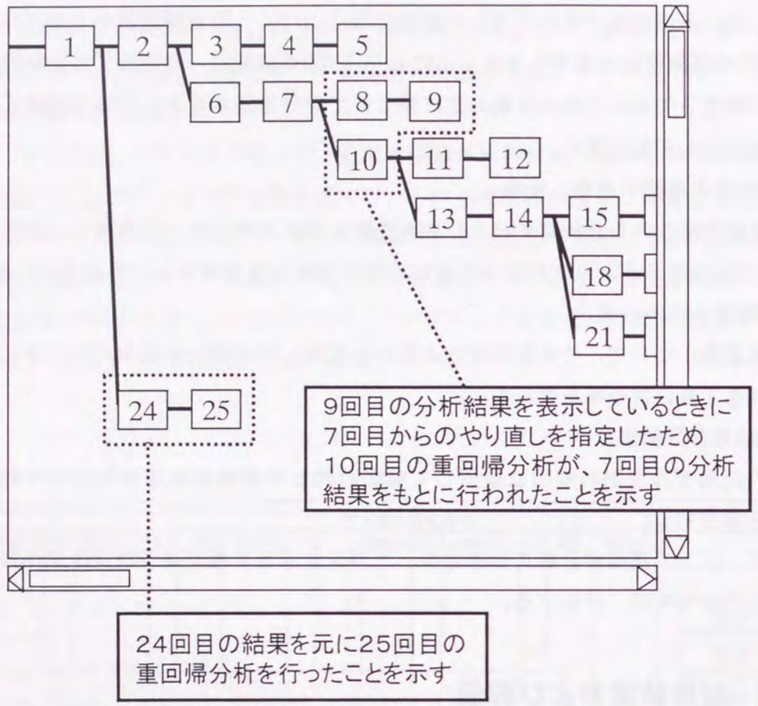


図 2.5　分析の履歴管理

2.4.2　専門家知識の抽出とルールベースの構築

エキスパートシステムは、図2.3のシステム構成に示すように、ローカルなワークステーション上に構築した。構築した知識ベース(ルールベース)の概要は以下の通りである。

(1)説明変数の数が1/5程度になるまでの段階

説明変数の数が1/5程度になるまでの段階では、表2.1に示すように、主に統計情報と係数の符号情報が説明変数削除の判断材料としたルールベースを構築することで、複数の専門家の間でコンセンサスが得られた。そこで、1) 専門家に代わって説明変数の絞り込みを行ない、重回帰分析を自動的に実行する支援、2) 専門家に代わって選んだ削除項目を専門家に提示し、専門家がそれを判断した後に、重回帰分析を実行する対話型の支援を行うルールを記述した。

表2.1　説明変数削除の判断情報

説明変数の情報種別	情報名称	判断基準
統計情報	仮説棄却率	小さい程良い
	偏相関係数	大きい程よい
属性情報	係数の符号	例：金額を表わす説明変数は正である
	商品種別との関連	例：ミセス向け商品は年齢との関係が強い

ルールベースには、表2.2に示すように、説明変数を削除する説明変数削除のルールと、実行するルールの順序を規定するルール群制御のルールがある。前者は着目する説明変数の属性により３種類に大別され、後者は推論制御と画面表示制御のルールに大別される。図2.6に示す説明変数削除ルールの例は、現在何番目の説明変数をチェックしているかをフレームに記述された項目(スロット)@現状CNTでカウントし、さらに属性名称、既に削除対象となっているかどうかをスロット@属性、@削除ﾌﾗｸﾞ1の値でチェックする。その後、スロット@確率に記述されている仮説棄却率の値が0.1以上であることをチェックしている。この条件を満たした上で、さらに、説明変数の残り数があらかじめ規定した数@最終項目数よりも多く、属性Rを持つ説明変数が2個以上あり、さらに既に削除候補となった説明変数が1

個以上ある場合には、その説明変数を削除候補とすることを示している。図2.7に示すルール群制御ルールの例は、「削除方法1」として定義したルール群制御ルールが実行対象になったら、「確率削除」、「相関係数削除」、「終結果表示」、および「画面制御」のそれぞれルール群をこの順に推論処理対象にし、かつ各々のルール群の中の個々のルールをその並び順に推論処理対象にすることを示している。

なお、説明変数間に強い相関関係がある場合、すなわち多重共線の問題がある場合、重回帰分析により得られた予測式の各項の係数の値が、分析対象として抽出した販売履歴データのほんのわずかな変化や説明変数の取捨選択に対して鋭敏に変化し、その結果、予測式を用いて得た売上高予測結果に悪影響が及ぶことが知られている[55]。実問題においては、この多重共線の問題は、共線関係にある説明変数の一部を除去することにより処理されることが多い。本研究においては、多重共線性の抽出や多重共線を考慮した説明変数の除去を知識ベースにより明に行うのではなく、専門家自身が、複数の販売履歴データに対する重回帰分析結果を比較、修正する過程で、暗に行うことに委ねている。

(2)説明変数の数が1/20～1/30個前後の段階

基本的には対話型で専門家が入力するが、分析時間の短縮のため、(1)のルールベースを延長的に適用して自動的に説明変数削除を行うことも可能にした。その結果を専門家が見て、修正の必要有りと判断した場合には、分析履歴情報の参照機能を用いて、説明変数の復帰、削除を行う。

表2.2　ルール種別とルール数

ルール種別	ルール種別詳細	ルール数
説明変数削除	仮説棄却率	15
	偏相関係数	10
	係数の符号	5
ルール群制御	推論制御	16
	履歴等表示制御	26


```
(確率削除001
    もし (WORK_001  の  @現状CNT      を  ?NO        とする          )
         (?ﾌﾚｰﾑ     の  @確率NO       が  ?NO        であり
                        @属性         が  R          であり
                        @削除ﾌﾗｸﾞ1    が  D          でなく
                        @確率         が  0.1        以上である      )
         (ﾌｧｲﾙ状況   の  @最終候補数   を  ?s_kouho   とし
                        @項目残数     が  ?s_kouho   以上であり
                        @R残数        が  2          以上であり
                        @削除候補数   が  1          以上である      )
    ならば
         (send   WORK_002    enqueue( 削除名      , ?ﾌﾚｰﾑ          ) )
         (send   WORK_001    assign ( 現状CNT     , ?NO          +1 ) )
         (send   ﾌｧｲﾙ状況    assign ( 削除数      , @削除数      +1 ) )
         (send   ﾌｧｲﾙ状況    assign ( 項目残数    , @項目残数    -1 ) )
         (send   ﾌｧｲﾙ状況    assign ( 削除候補数  , @削除候補数  -1 ) )
         (send   ﾌｧｲﾙ状況    assign ( R残数       , @R残数       -1 ) )
         (send   ?ﾌﾚｰﾑ       assign ( 削除ﾌﾗｸﾞ1   , "D"            ) )
)
```

図2.6　説明変数（説明変数）削除ルールの例

```
(ルール群2
    もし 削除方法1
    ならば
         (rule_group  確率削除        strategy  R0 )
         (rule_group  相関係数削除    strategy  R0 )
         (rule_group  終結果表示      strategy  R0 )
         (rule_group  画面制御        strategy  R0 )
)
```

図2.7　ルール群制御ルールの例

2.4.3　評価手順

評価は以下の手順で行った。

(1)約50種類の商品分類の中から、専門家の経験をもとに、データ件数、説明変数の数、作業時に必要となるノウハウ等の観点から、評価対象とする特徴的な７つの商品分類を抽出した。

(2)抽出した商品分類について、説明変数の数が1/20～1/30前後になるまで、自動実行機能により説明変数削除を行ない、作業時間の計測、作業履歴の保存を行った。

(3)(2)の計算機による自動実行結果を専門家が評価し、修正が必要と判断した商品分類については、対話的に説明変数の追加・削除をしてもらい、作業時間の計測、作業履歴の保存を行った。

(4)専門家による予測式作成結果を、「手作業で作成した予測式」と「エキスパートシステムを用て得た予測式」について比較し、ルールベース全体の有効性について専門家の評価を得た。

(5)各専門家／商品分類別に作業時間を集計し、作業時間の削減効果を算出した。

2.4.4　評価結果

(1)知識ベースの構造化に対する評価

専門家にヒアリングを行った結果、専門家が計算機による説明変数削除結果を見て修正が必要であるという判断をした場合には、履歴保存機能および対話的な説明変数削除・追加機能を用いて修正が可能であることが分かり、専門家による知識ベースの可読性を損うことなく構造化できていることが分かった。専門家の手修正方法は、図2.8に示すように、計算機によって得られた分析結果に対して、例えば年齢や購入回数に関する説明変数を、たとえ分析の初期段階で削除された説明変数であっても復帰して回帰分析を実施し、分析結果を見て対話的に説明変数を削除することを繰り返すというものであった。説明変数を復帰する前後の分析結果を比較するために履歴保存機能が役に立った。また専門家の経験を活かしたアドホックな説明変数復帰・削除を行うために対話的な説明変数削除・追加機能が役に立った。ある段階まで立ち戻って分析をやり直す方法と比較して、専門家の経験を活かしたアドホックな方法を柔軟に支援出来た。

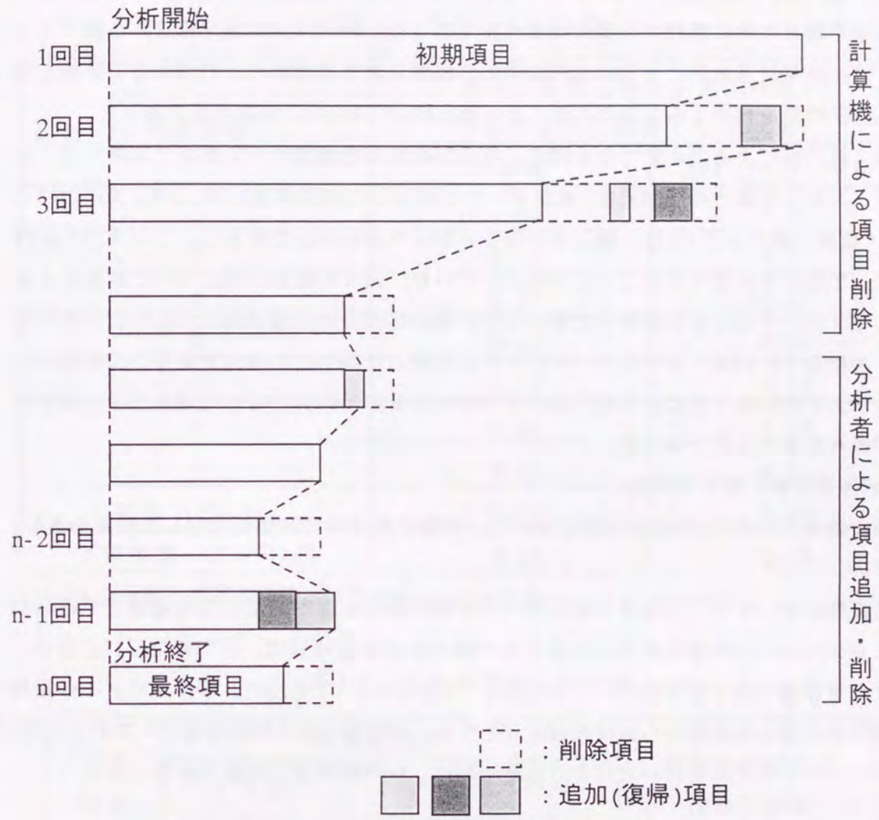


図 2.8　専門家の説明変数削除・追加方法の例

(2)構築した知識ベースの質の評価

説明変数の自動削除を行った7商品分類のうち、4商品分類について、分析結果を別の母集団データに対して適用して分析結果の検証を行う以前の専門家の満足(作成した式を他の母集団に適用して検証を行わないと専門家でさえそれ以上の評価ができないという判断)を得た。この4商品分類の特性に近い全体の４割の商品分類について同様に専門家の満足が得られ、自動削除結果をもとに専門家の手直し無しで、検証フェーズに移れる見通しを得た。

また、残りの3つの商品分類は、データ件数、説明変数の数が少なく、専門家でさえ良い分析結果を得るために慣れが必要な商品分類であった。専門家の対話的修正が必要であったが、修正結果は基本的にもとの分析結果から派生したものであり、代替条件で分析を実行する修正時間を含めてもなお手作業による作業時間の約1/3に短縮可能であった。

なお、専門家による手作業での予測式、および構築した知識ベースを持つエキスパートシステムを用いた場合の予測式を、検証データに適用した結果を表2.3に示す。表における「最大人数購入額ランク」とは、購入者が最も多かった金額の分類を指し、このランクを用いることで誤差を少なくすることを目的としている。個々の商品分類について誤差を見ると、エキスパートシステムを用いた場合と手作業の場合との良否は付けがたい。2乗平均では、手作業で0.44%、エキスパートシステムを用いた場合で0.36%であり、エキスパートシステムを用いることにより専門家がすべての分析を手作業で行った場合とほぼ同等の結果が得られることが分かった。

(3)分析作業時間に対する評価

評価実験を行った7つの商品分類について、予測式作成作業時間を測定した結果を表2.4に示す。

測定結果より、すべての商品分類について作業時間の短縮が可能になる見通しが得られた。エキスパートシステムを用いた場合の予測式作成作業時間は、平均値で0.27となり、すべてを手作業で行った場合の0.89と比較して約1/3～1/4であった。手作業による作業時間は専門家の過去の経験から30時間程度（ただし、印刷等の待ち時間を含む）であったが、エキスパートシステムを用いた場合の作業時間は、10時間程度に短縮された。

表2.3　予測式検証結果

商品分類	最大人数購入額ランクにおける予測／実際の誤差注) e（%）	
	手作業	ｴｷｽﾊﾟｰﾄｼｽﾃﾑ利用
1	-1.00	-0.70
2	-0.12	0.15
3	-0.66	-0.37
4	-0.63	0.69
5	0.62	1.13
6	-0.66	-0.18
7	0.65	-0.25
平均 $(\Sigma e)/7$	-0.26	0.07
2乗平均 $(\Sigma e^2)/7$	0.44	0.36

注）商品分類1の手作業による誤差を-1.00とした

表2.4　予測式作成作業時間

商品分類	作業時間注)		類似分析傾向の商品分類数
	手作業（総時間）	ｴｷｽﾊﾟｰﾄｼｽﾃﾑ利用（総時間（修正時間））	
1	1.00	0.31(0)	9
2	1.00	0.27(0)	3
3	1.00	0.25(0.02)	4
4	1.00	0.28(0.03)	1
5	0.75	0.27(0)	9
6	0.75	0.26(0)	3
7	0.75	0.27(0.01)	6
平均	0.89	0.27	

注）商品分類1の手作業時間を1.00とした

2．5 結言

本章では、通販業の需要予測を行う専門家を支援して、売上高予測式の作成を効率良く短時間で作成するために、分析に必要な専門家の計画知識を重回帰分析ツールへの入力となる説明変数の数が初期の1/20～1/30前後になるまで、説明変数の持つ属性値によって手続き的に順次自動的に削除する知識ベースを持つエキスパートシステムを構築した。さらに、エキスパートシステムが出力した説明変数群を、専門家が計算機と対話的に取捨選択する、エキスパートシステム併用方法を実業務に適用して、専門家がその全てを手作業で行った場合の結果と比較することにより、構築した知識ベースの実用性を評価した。評価の結果、専門家による知識ベースの可読性を損うことなく知識ベースが構築できていることが分かった。さらに分析結果の質を落とすことなく、分析にかかる作業時間を約1/3に短縮できた。構築した知識ベースを持つエキスパートシステムを用いた場合、従来方式より短時間で、かつ分析結果の質を落とすことなく良好な結果を得ることが可能である。

本章で提案した内容は、(株)ニッセン殿において、カタログ送付対象顧客を決定する顧客セグメンテーション業務に適用されている。

提案内容は，アパレル商品の売上高予測だけでなく、顧客についての情報の収集が可能である販売形態の小売業での顧客評価にも基本的には適用可能である。さらに，クレジット販売での信用判定のためのスコアリングなど、顧客情報を利用可能な業務全般のサポートに適用できる。分析結果をより良いものにするためには、今回ルールベースに記述できなかった専門家のノウハウを利用可能にするような、例えば分析結果を可視化するインタフェース[67]などの充実が有効である。

第3章

保守／渉外業務支援向け携帯端末用手書きメモ入力システムの開発と配電設備巡視業務への適用

3．1 緒言

本章では、専門家の計画業務における判断や業務効率の改善を支援する環境情報を、計算機に簡単に取り込むため、ペンインタフェースを有する携帯端末上で動作する手書きメモ入力システムを提案する。また、適用事例として、配電設備巡視業務を取り上げ、専門家が、巡視後の保守計画業務における環境情報を現地において計算機に取り込む過程での問題点を分析し、巡視業務支援システムに適用可能な手書きメモ入力システムを構築する。

製造・電力・損保・金融・流通業界等の分野では、巡視・渉外・営業業務など、オフィスの外での業務の重要性が増しつつある[23, 68]。巡視業務においては、設備のある現地に赴いてデータベースに蓄積した設備情報を参照するだけでなく、チェックした項目を入力したり、さらに周辺の環境情報までも現地で入力してオフィスに持ち帰り、共有情報とすることが求められている。渉外業務においては、訪問先の顧客の情報を事前に参照するだけでなく、訪問先においても関係する情報を参照しながら顧客にとって有益な情報を臨機応変に提供したり、その結果顧客から得た情報を入力したりすることが必要である。

上記の外部活動を支援するため、ペンインタフェースを有する携帯端末を適用したシステムが提案されている[23]。ペンインタフェースを有するシステムにおいては、現地で設計情報を画面に表示して参照し、ペンを用いて現場で発生している情報をメモ書きして保存することができる。

しかし、保守／障害業務支援へのペンインタフェースの適用を検討した結果、従来方式

のインタフェースでは必ずしも十分使い勝手の良い実用的なインタフェースを提供できない。実業務の現場では、業務プログラムを構築する際には想定しなかった種々の事故や災害が発生する。この状況下においては、装置が置かれている地図情報を合せて参照する等、予め想定していなかった複数の画面に影響する処理が必要になる。想定外の状況においても対応のできる柔軟なインタフェースが必要となる。従来のペンインタフェースにおけるペン入力部分は、通例ではアプリケーションプログラムに組み込まれており、予め定められたタイミングでしか入力ができない。さらに、一部のＣＡＤシステムを除いてはアプリケーションプログラムで指定された特定の場所にしかメモを書くことができない[20]。

ペンインタフェースにおける使い勝手に関する研究としては、入力した手書き文字(手書きの図形を含む)データを高速かつ正確にコード情報に変換できるかという機械認識技術や、小さな字が書けるかどうかという、ペンインタフェースのハードウェア仕様に観点を置いた研究が中心であり[25-27]、実業務とオフィス業務の処理とをつなぐインタフェースに関する研究は見当たらない。

本章では、上記の問題を解決するため、既存の業務アプリケーションプログラム(以下業務ＡＰと略す)の画面に自由に手書き入力可能な手書きメモインタフェースを提案する。具体的には、以下の２つの機能を実現する。1) 任意の業務ＡＰ画面の全面をイメージ情報に変換して画面に表示し(業務ＡＰから切り離して入力タイミングの任意性を高める)、その上に書かれる手書き文字をベクトル情報入力として蓄積する手書きメモ入力機能(入力箇所の任意性を高める)、2) 手書きメモ入力終了時には、蓄積したベクトル情報を業務ＡＰのイメージ画像と合成して一つのイメージメモを作成すると同時に、作成したイメージメモの縮小イメージメモを作成し、元のイメージメモと関連付けして保存するイメージメモ管理機能、である。

以下、第３．２節において、対象となる業務支援システムおよびそれに対して適用する手書きメモ入力システムの外部仕様とその実現上の課題について述べる。第３．３節においては、提案する手書きメモ入力システムの具体的構成について述べる。第３．４節では、提案システムを電力設備の保守業務に適用する場合の業務支援方式を考察する。

３．２ 携帯端末利用の業務支援システム

3.2.1 業務支援システムの概要

ペンインタフェースを有するパーソナルコンピュータ(以下ペンＰＣと略す)は、基本的にはオフィスで管理している情報、あるいはその一部を現地に持って行き、現地でその情報を参照、あるいは更新するために使われる。現地で利用する情報は、具体的には、設備

の設営情報、棚卸しの数値情報、顧客の訪問履歴情報等である。本章で想定する業務および業務支援システムの概要を図 3.1 に示す。

担当者は、事前作業として、業務に必要な情報をホストコンピュータ上の管理情報データベースからペンＰＣにダウンロードしてオフィス外の現地に持って行く。現地において、担当者はペンＰＣ内の業務ＡＰを用いてダウンロードした管理情報を参照して作業を行ったり、入手した情報や作業の進捗をペンＰＣに入力する。入力した情報は、オフィスに持ち帰ってホストコンピュータにアップロードし、情報の分析等を行う関係部署に送られる。

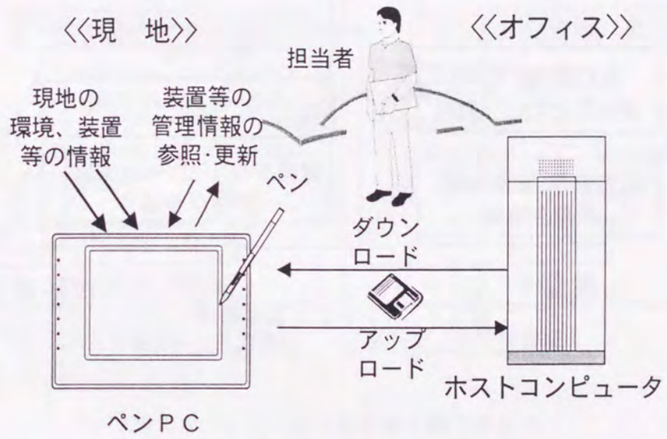


図 3.1　対象業務と業務支援システムの概要

3.2.2 ペンＰＣの基本的構成

前記ペンＰＣの基本構成を図 3.2 に示す。図 3.2 に示すように、マウスやキーボードを具備するような携帯端末とは異なり、画面に対するペンの操作を入出力制御機能（Ｉ／Ｏ）を通して認識する点に特徴がある。また、手書きの情報はペンの軌跡情報としてペンＰＣ内部に取り込む。

図 3.2 に示すように、ペンＰＣへの入力操作は、業務ＡＰを操作する場合も、メモを書く場合も、ペンにより行う。現地で業務を行う際には、実用性を損わないように業務ＡＰを操作モードとメモを書くモードとを短時間かつ簡単な操作により切替えて使用できることが必要である。

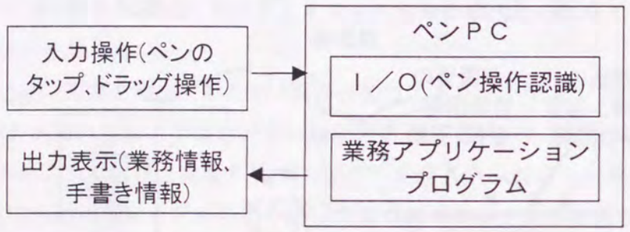


図 3.2　ペンＰＣの基本構成

３．３ イメージ情報処理による手書きメモ入力／管理方式

3.3.1 提案方式の概要

業務ＡＰのすべての画面で任意に手書きメモが書き込める手書きメモインタフェースを設ける。具体的には、図 3.3 のイメージメモ作成処理の概要に示すように、手書きメモ入力機能とイメージメモ管理機能の２つの機能を実現する。前者は、手書きメモ機能の起動時に、画面に表示されている業務ＡＰ画面全面をイメージ情報に変換して画面に表示する。また、入力される手書きメモ情報を業務ＡＰイメージ情報の上に重ねて表示する。一方、後者は、手書きメモの入力終了時に、業務ＡＰのイメージ画像と合成して一つのイメージメモ情報を作成して保存することによってイメージメモを管理する。さらにその縮小メモを作成して、もとのイメージメモ情報と関係付けて管理する。

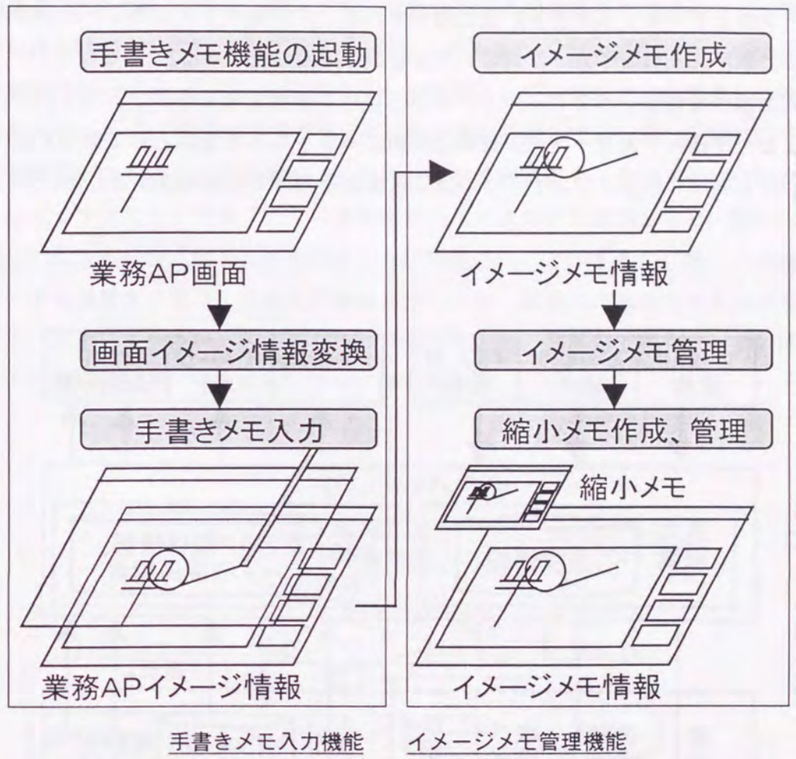


図 3.3　イメージメモ作成処理の概要図

3.3.2 手書きメモ入力方式

図 3.4 に手書きメモ入力方式の処理の流れを示す。業務ＡＰ操作、メモ入力操作、および両者の切替操作に対応する処理は、ペンＰＣのＩ／Ｏの入力処理部を通じて各々実行される。ペンＰＣのＩ／Ｏにおいて、画面にペン先が触れる位置をペン座標情報に置換えて、業務ＡＰ等、各種プログラムに引き渡すことにより、業務ＡＰ操作、メモ入力操作、および両者の切替操作に対応する処理が実行される。例えば、手書きメモ入力の起動アイコンをペンでダブルタップすることにより、業務ＡＰ操作から手書きメモ入力へ切替操作を行うと、手書きメモシステムが起動し、まず業務ＡＰ画面情報の退避処理を実行する。ペン

ＰＣの画面に表示されていた業務ＡＰ画面及び業務情報は、業務ＡＰ画面イメージ情報としてハードウェアメモリ（メモリ）上に複写される。その後ペンＰＣのＩ／Ｏの表示処理部を通じて業務ＡＰ画面イメージ情報をペンＰＣの画面に表示する。

メモ入力操作時には、ペンＰＣのＩ／Ｏからのペン座標情報を取得し、ベクトル(数値)情報のまま、業務ＡＰ画面イメージ情報とは別にベクトルメモ情報として保存する。同時に入力したメモは、ペンＰＣのＩ／Ｏの表示処理部を通じて画面に表示される。

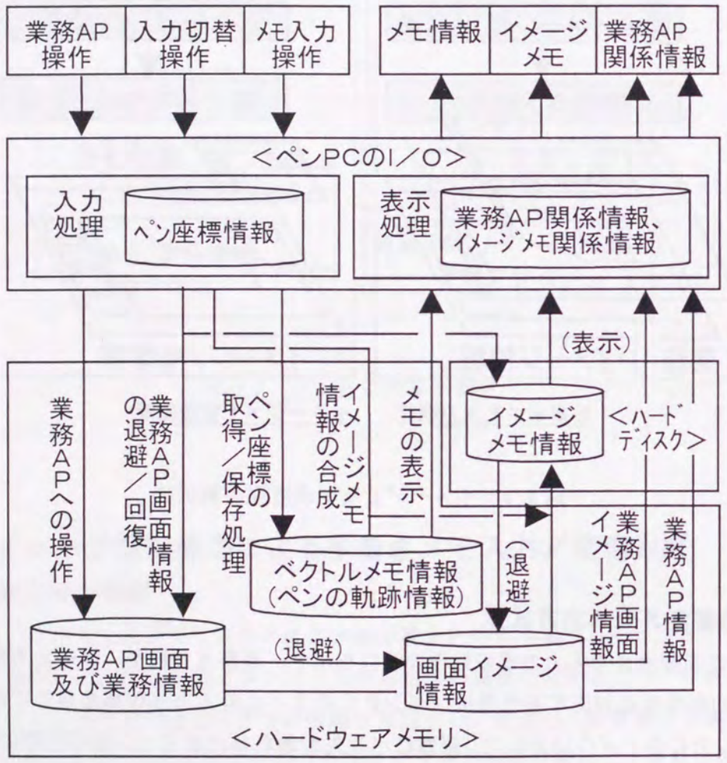


図 3.4　手書きメモ入力方式の処理の流れ

図 3.5 に示すように、ベクトルメモ情報の保存のために、まず環境設定として、ペン座標の取得間隔(約 10ms)の設定、およびペンで書いた個々の軌跡を一つのベクトルメモ化するまでの待ち時間(約 1 秒)の設定を行う。次に、メモを書いている間(ペンダウン状態)は、ペンの軌跡座標(point.x, point.y)をベクトル情報として、メモリ上に確保した軌跡座標の保存配列(vectordata[i])に保存する。ペンを画面から離して(ペンアップ状態)予め設定した待ち時間が生じると、それまでに書いたメモの軌跡情報を、後でメモ単位に修正や移動をしやすくするために矩形データに置き換え、ベクトルメモ情報とする。同時にＩ／Ｏ部を通じてペンの軌跡を業務ＡＰ画面イメージ情報の上に表示する。以降、メモ書き終了のコマンドを選択するまで、上記処理を繰り返し、同一画面に複数のベクトルメモ情報を作成する。なお、矩形内データとしてのベクトルメモは、画面内で移動、縮小／拡大、削除することができるが、その処理については省略する。

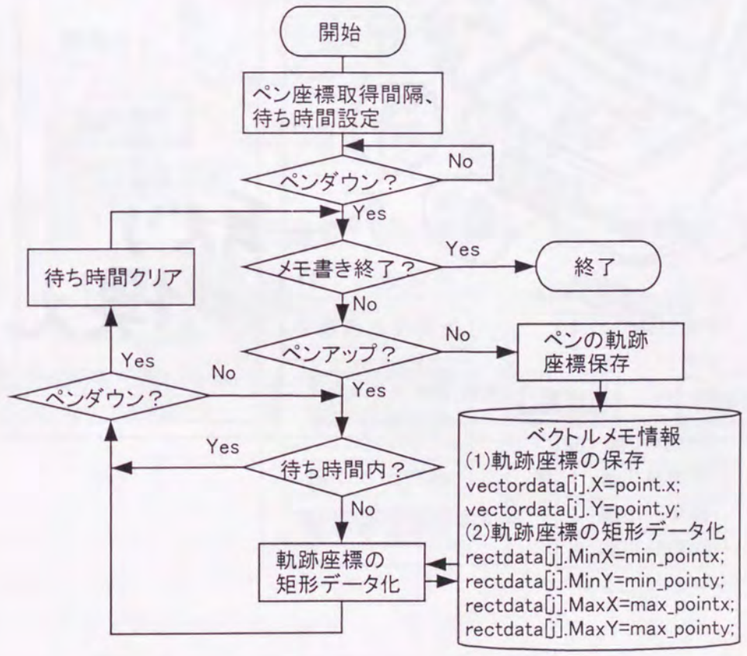


図 3.5　ベクトルメモ入力方式

手書きメモ入力終了時に入力切替操作が行われると、ベクトルメモ情報を、業務ＡＰ画面イメージ情報と合成してイメージメモを作成する。図 3.6 にメモ入力の例を示す。イメージメモの大きさは、約 150KB(16 階調画面)、ベクトルメモの大きさは 0.5KB 程度である。

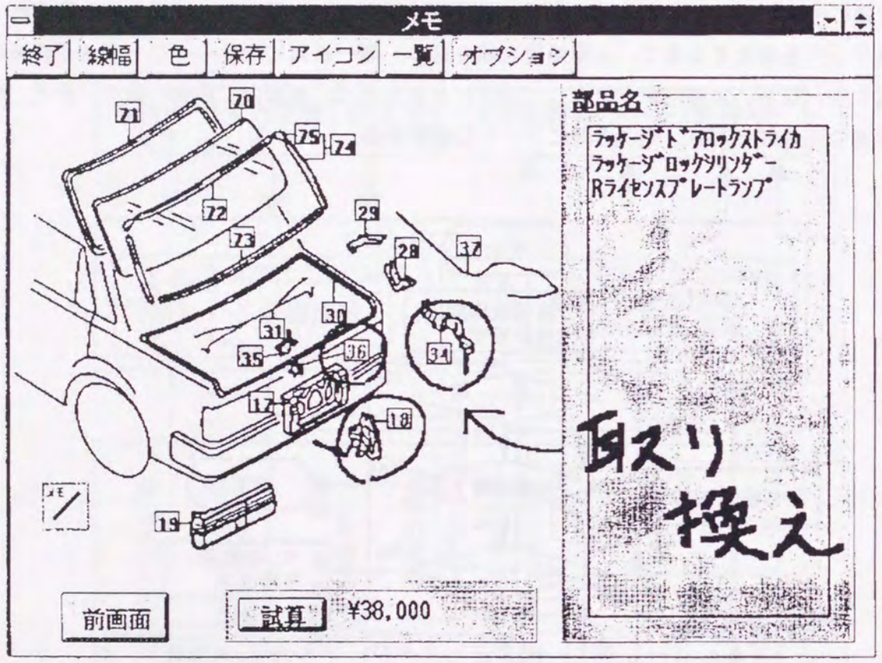


図 3.6　メモ入力の例

3.3.3 イメージメモ管理方式

メモとメモ元の情報とを関係付けて管理可能なシステムを実現するため、手書きメモの入力時と入力終了後の保存時とで、手書きメモの管理方法を使い分ける方法を取る。

図 3.7 に示すように、手書きメモ入力時には、業務ＡＰの各処理から手書きメモ入力処理に移行し、メモＮｏを取得した後、ペンの軌跡情報を取得しベクトルメモ情報としてメモＮｏを付して保存する。

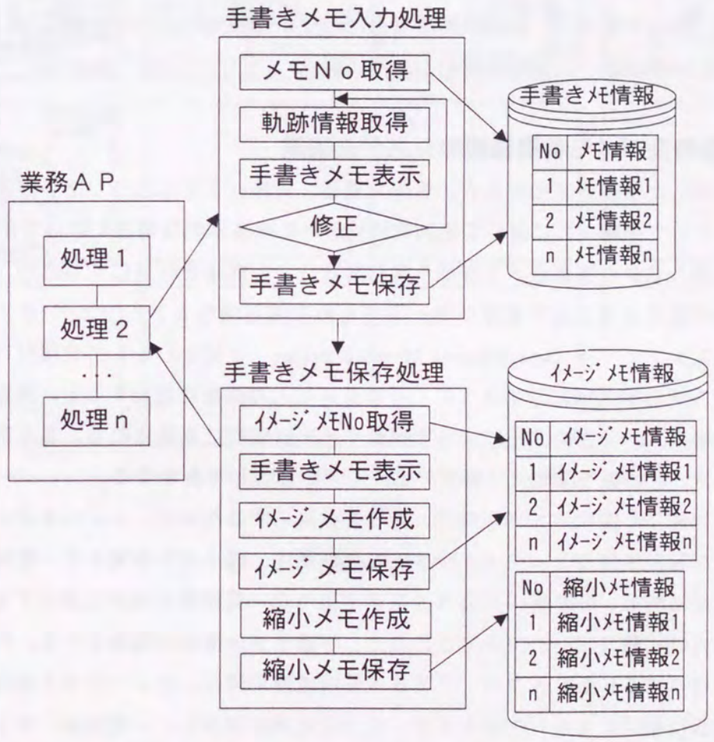


図 3.7 手書きメモ管理方式

Ｉ／Ｏを通じて手書きメモ入力操作の終了コマンドが入力されると、イメージメモ作成機能は保存するイメージメモの番号を取得し、手書きメモ(ベクトルメモ情報)と元の業務ＡＰ画面(イメージ情報)を合成して一枚のイメージメモを作成する。またイメージメモ管理機能は、イメージメモの縮小メモ情報(縮小メモ)を作成し、イメージメモ情報とは別の管理番号を付して両情報を保存する。

なお、縮小メモは、元のイメージメモの約 1/12 に縮小され、イメージメモ情報ディレクトリに保存する。これらの縮小メモを、図 3.8 に示すような縮小メモ一覧画面に表示することでメモの概要を確認できる。この一覧画面では、一度に 12 個の縮小メモが表示される。この画面で任意の縮小メモをペンで選択することで、通常サイズのメモ画面を読み出すことができる。縮小メモが 12 個以上ある場合には、一覧画面のメニューから「次頁」「前頁」を選択してその他の縮小メモを参照する。

3. 3. 4 起動時及びメモ参照機能のシステム構成

上記に説明した手書きメモの入力／管理方式を、業務ＡＰとは独立した手書きメモインタフェースとして業務ＡＰに対して追加実装するための基本的な構成について説明する。

既存の業務ＡＰから手書きメモ機能を含む業務ＡＰの構築を容易にするため、ここでは手書きメモ機能をメモ入出力機能サポートのための汎用的なミドルウェア(イメージベース・メモインタフェース（Image-based Memo Interface、ＩＭＩ）として位置付ける[33]。図 3.9 のシステム構成図に示すように、手書きメモ入力機能を起動すると、業務ＡＰ画面情報は、画面イメージ変換機能によって画面イメージ情報に変換される。表示部は変換された画面イメージ情報を業務ＡＰ画面の上にＩ／Ｏを通じて表示する。

さらに、作成した複数のメモの参照、管理を容易にするために、Ｉ／Ｏを通じて一覧表示コマンドが入力されると、イメージメモ管理機能は、縮小メモ情報から一覧画面情報を作成し、表示部がＩ／Ｏを通じて図 3.8 に示すような一覧情報を画面に表示する。この状態でメモ入力の起動コマンドが入力されると、手書きメモ機能が起動される。作成したイメージメモに対するメモの入力は、手書きメモ機能使用時に、イメージメモ管理機能によって一覧画面情報に貯えられた縮小イメージメモを画面表示し、一覧画面、もしくは一覧画面から選択した特定のイメージメモ情報に対して手書きメモ機能を起動することにより行われる。また、図 3.10 に上記の処理のシステムフロー図を示す。図中のハッチングを施した部分がペンＰＣの画面に表示される操作待ち／表示状態を、白地の矩形部分が機能メニューを示している。また矢印は、各機能の切替えを示しており、具体的には手書きメモ機能の画面に表示されたメニューをペンで選択して行う。

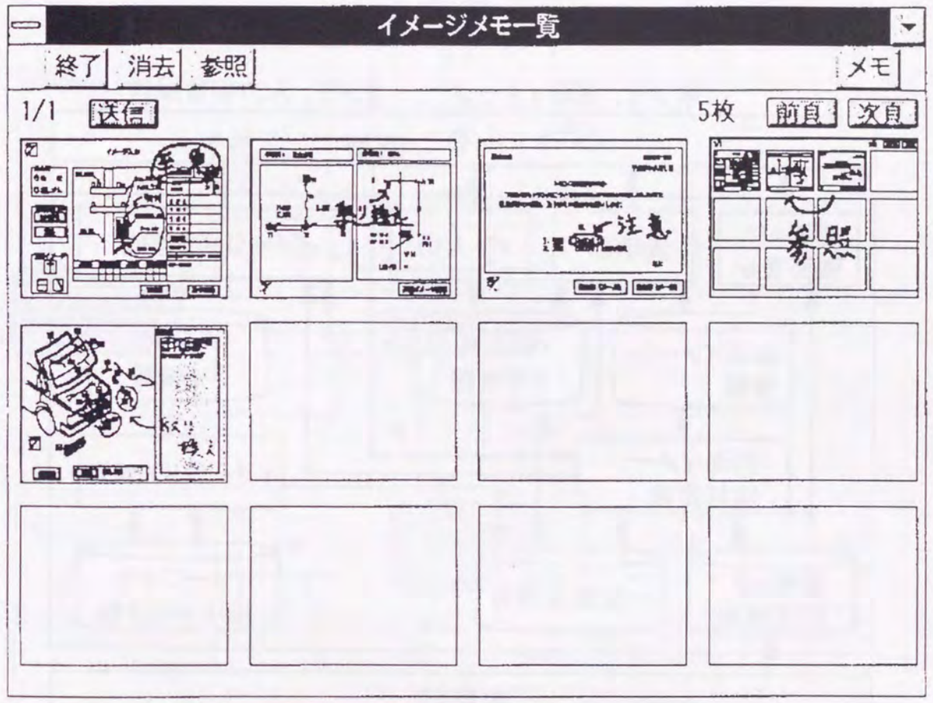


図 3.8　メモ一覧画面の例

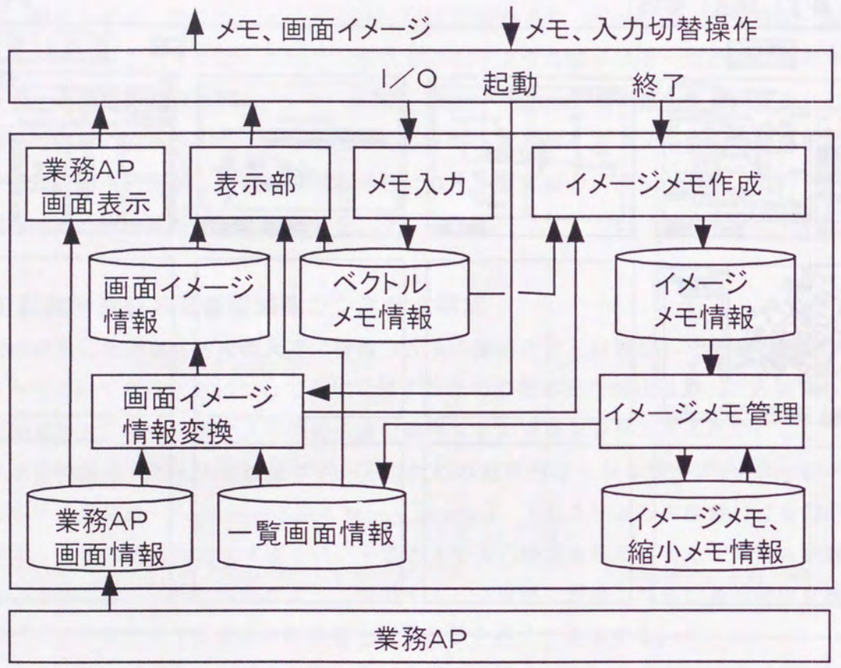


図 3.9　手書きメモ入力方式のシステム構成

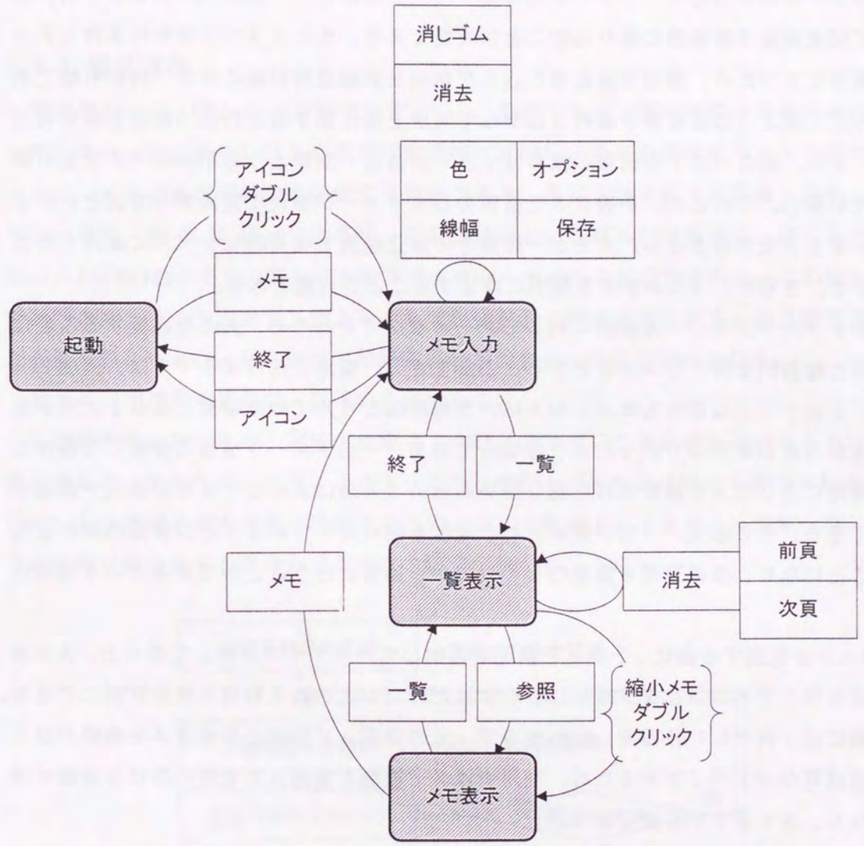


図 3.10　システムフロー図

3.3.5 提案方式の効果

提案方式では、以下の効果が得られる。

(1) 業務ＡＰ画面の特定のエリアにメモを書く方式と比較して、画面上のどこにでもメモを書いて環境情報を計算機に取り込むことが可能である。またイメージメモは業務ＡＰの画面を背景にもつため、環境情報を取り込んだ状況を計画業務の際に併せて利用可能である。さらにこのような柔軟性を維持しながらも実用上操作性を損なわない高速処理が可能である。また、通常ベクトル情報の演算はイメージ情報の演算よりも早いのでメモ入力時に操作性が良い。このため、手書きメモ情報を逐次イメージ情報に変換する方式と比較すると、手書きメモの書き直し、大きさ・位置等の修正速度も実用的なレベルに維持することができる。さらに、メモの要素を個別に修正することが可能である。

(2) 縮小イメージメモの一覧画面に対してメモ書きができるため、メモを総覧することによって得た総括的な考えをメモ書きすることができる。業務を遂行する中では、何度もメモを書く必要が生じる場合もある。例えば、当初原因と考えていた事象と異なる状況が生じて、後から真の原因が分かったような場合である。一旦イメージ情報に変換して保存したメモ情報に対してメモ機能を繰り返し用いるという方法によって、メモの修正や追記が容易にできる。その結果、メモが更新される履歴を同時に一つのイメージ情報の中に管理できることになり、情報管理を簡単なしくみでかつ確実に行うことができるという効果がある。

(3) 業務ＡＰを起動する前に、予めメモ機能を起動して一旦アイコン化しておくと、メモ書きが必要な時にアイコンをダブルクリックするだけでシステムを利用可能な状態にできる。この起動には、高々0.1 秒程度しかかからず、元の業務ＡＰ画面と手書きメモ機能が立上った画面は見かけ上同じであるため、利用者はメモ機能と業務ＡＰを使い分ける意識を持つことなく、メモ書きが可能である。

なお、画面に表示された業務ＡＰのイメージ情報及び手書きメモ情報をイメージ情報として保存する処理は、縮小メモの作成時間を含めて 4～5 秒程度の時間を要する。この処理時間の低減のためには、イメージ情報の保存時に表示の階調を落として情報量を減らす等の工夫が必要である。また、一般にイメージ情報の容量はそのままでは比較的大きなものとなるため、提案方式ではイメージメモを圧縮後に保存するようにしている。圧縮後のファイル容量は、元のファイル容量の 1/3～1/10 程度である。近年保存媒体(ハードディスク等)の単位容量当たりの価格は低下しており、将来的には大きなデメリットにはならなくなると考える。

３．４ 配電設備巡視業務への適用

本節では、電力会社の配電設備巡視業務に提案方法を適用した配電設備巡視業務支援システムについて示す。

3.4.1 現状業務

巡視業務とは、図 3.11 に手順を示すように、敷設された一連の施設が本来の機能を維持しているか、徒歩あるいは自動車等で定期的に巡回し、その情報をオフィスに持ち帰るとともに、必要であれば施設を修理する業務である。業務支援を行う計算機システムに関しては、従来、図 3.12 に示すように、巡視業務において得られた情報は、ＯＣＲ(Optical Character Reader)を介してホスト計算機上のデータベースに蓄積される。この情報が、設計部門のオンライン設計システムを介して設備設計の際に参照される。設計部門が入力した設計情報をもとに、材料部門の部品調達や建設会社への発注が行われる。

従来の巡視業務の課題は、以下の２点である。

(1) 巡視業務においては、現地では紙に、オフィスではＯＣＲ用紙にと情報入力の２度手間が生じる。このため、オフィスに戻ってから情報入力のために時間を費やされる。

(2) ＯＣＲ用紙を紙の状態で回覧するため、ＯＣＲ用紙上の手書きメモ情報とＯＣＲ入力された電子情報とをつき合わせるまでに時間がかかる。

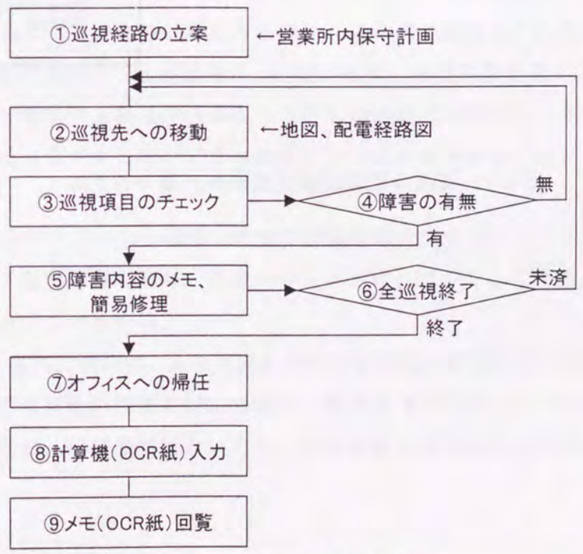


図 3.11　巡視業務の手順

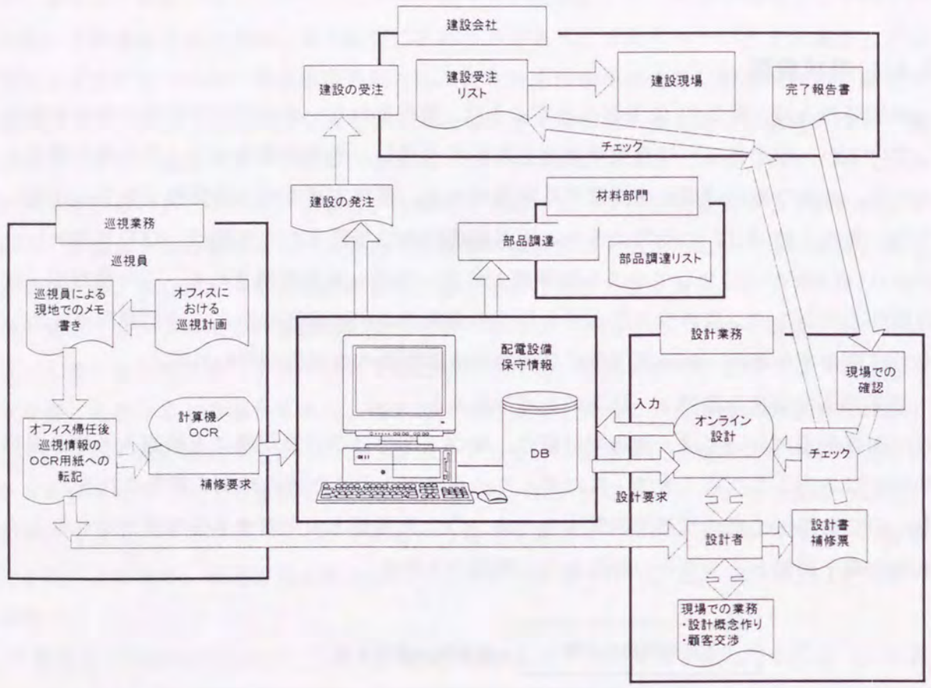


図 3.12 従来の配電設備巡視業務支援システム

3.4.2 手書きメモ機能の導入

従来の巡視業務における巡視先設備情報の参照、及び巡視の結果生じた手書きメモ入力の部分に提案手法を導入する方法を以下に示す[40]。また、図 3.13 に、提案手法を導入した場合の配電設備業務支援システムの全体像を示す。図 3.13 においては、中央の配電設備ＤＢを中心に、ペンＰＣを導入した巡視支援システム、巡視結果の情報をもとにした設備設計を行う設計支援システム、設備設計情報をもとにして修繕を行う修繕支援システム、およびこれらの支援システムを統合管理して総合的に配電設備の状態を管理する統計解析支援システムが相互に情報を授受して連携していることを示している。

(1) 図 3.11 ②の巡視先への移動のステップの前に、地図や配電経路図については、ペンＰＣに入力して巡視先に出かける。

(2)巡視先で巡視設備のコード番号や地名を業務ＡＰに入力して、設備に関する情報を画面に呼び出す。表示画面上で巡視系統路線を選択入力して詳細な系統図を表示し、系統図上の該当設備をペンでタップして、例えば、電信柱上に設置されている配電機器の仕様を示す装柱情報等を参照する。

(3) 図 3.11 ⑤の現地における障害内容のメモ、あるいは簡易修理のステップにおいては、呼び出した情報と巡視設備を比較して、故障等の障害があれば手書きメモ機能を起動してその様子を手書きでペンＰＣに入力し、設備の障害状況や簡易障害の修理状況を現地で手書きによりペンＰＣに入力する。また、作成したイメージメモ情報として保管する。手書きメモ機能を予めアイコン化しておく方法では、基本的に業務ＡＰに何ら変更を加えることなくメモ機能を付加することが出来る。必要があれば修理票を作成する、図 3.14 の画面例に示すように、電信柱上の装柱情報をペンＰＣの画面に表示して、その画面上に巡視先で得た巡視情報をメモすることのできる画面を持つ巡視業務支援システムを構築することができる。

(4)図 3.11 ⑧、⑨のオフィスへ帰任した後に巡視情報をアップロードするステップでは、オフィスに戻って装置情報の番号、処置内容とともに、ペンＰＣに手書きメモ入力したイメージメモをアップロードする。

(5)アップロードされた情報は、メモ情報を含めて計算機で配信可能であるので、設計部門や管理部門がＯＣＲ用紙の回覧を待つ必要なく計算機上で参照して、設計業務や障害分析業務を行う。さらに、修繕部署においても、設計情報や装柱情報を参照して、必要な修繕処理を行う。

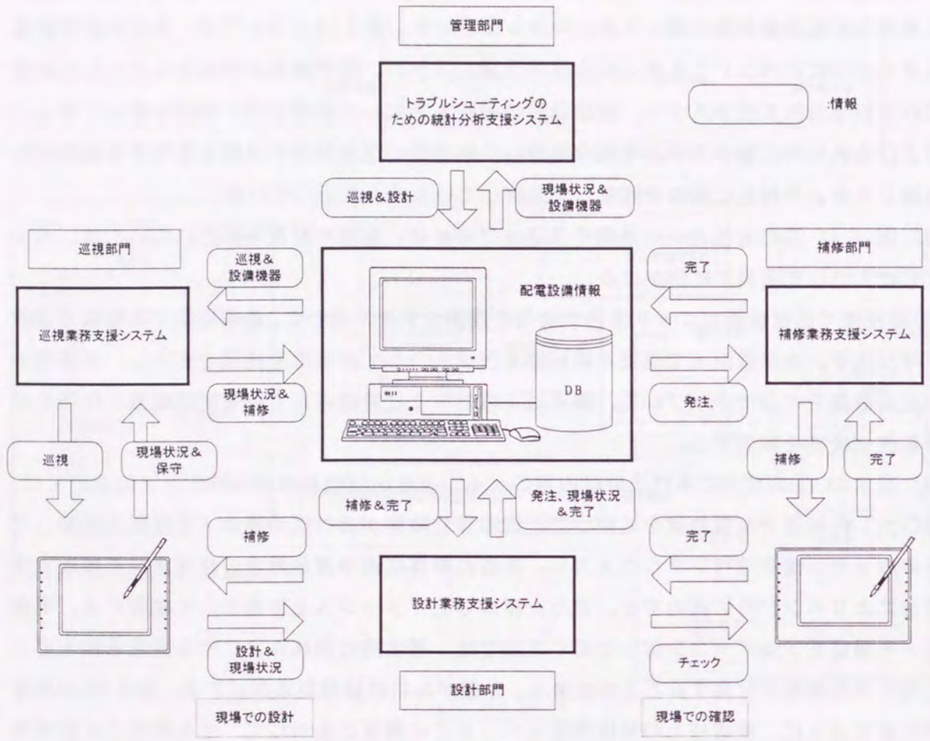


図 3.13 提案方法を導入した配電設備巡視業務支援システムの全体像

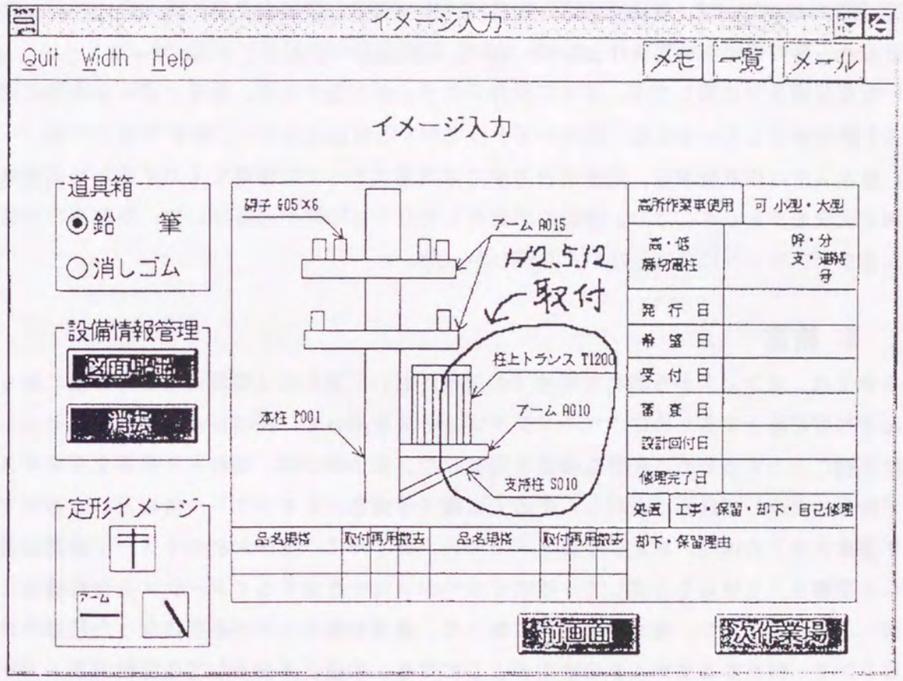


図 3.14 巡視業務支援システムの画面の例

3.4.3 導入効果

上記手書きメモ機能を有するペンＰＣを導入することにより、以下の効果が得られることが分かった。

(1) 現地で計算機への情報入力が終了するため、入力の二度手間が解消された。配電設備巡視業務の場合、現地で補強カバーの交換や道路状況の変化をメモにすることが必要である。巡視先からオフィスに戻ってきた際 1～2 時間を要していた巡視情報の計算機入力操作を、メモリカードやネットワークを媒体にすることによりメモ情報も含めて電子的に行うことができるため、10～20 分程度に短縮可能となった。

(2) 現地での障害情報入力を、参照した設備情報と関係付けできるため、入力した情報を

短時間で、設計や設備等の関係部署に配信可能となる。本節では配信の具体的な方法については触れていないが、業務を実施した日時、担当者名、業務ＡＰの画面ＩＤ、参照した装置番号、等の情報を検索条件として、適切に関係部署への配信が可能である。

(3) 配電設備保守に関しては、多くの既存システムが存在するが、提案方式は基本的に業務ＡＰから独立しているため、既存システムに対する組込は少ない工数で可能である。

(4) 縮小メモの作成時間は、巡視業務の中では業務ＡＰへ次の情報を入力するために現地の周辺状況をチェックしたり、移動の準備をしたりする時間が必要なので、業務遂行上特に大きなデメリットにはならないことがわかった。

３．５ 結言

本章では、オフィスから離れた現地での業務において実用的に環境情報を計算機に取り込んで利用可能とするために、ペンインタフェースを用いて、環境情報を手書きメモとして計算機に入力するために必要な機能を提案した。具体的には、業務ＡＰ画面全面をイメージ情報に変換して画面に表示し、その上に書く手書きメモをベクトル情報として蓄積する手書きメモ入力機能、および手書きメモの入力終了時に、業務ＡＰのイメージ画像と蓄積した手書きメモ情報を合成して一枚のイメージメモを作成するイメージメモ管理機能を提案した。これにより、現地での業務において、環境情報の入力が必要になった任意のタイミングで、関係する業務ＡＰの画面のどこにでも、手書きメモとして環境情報を入力することが可能になった。

さらに、提案機能をペンＰＣ上にイメージメモインタフェースとして実装する方法を示し、電力会社における配電設備巡視業務に適用して評価した結果、通常巡視業務からオフィスに戻ってきた後に1～2時間かけて行っていた障害情報の計算機への入力時間を、提案方法を用いることにより、10～20分程度に短縮出来る。また、障害情報は、業務ＡＰ利用中に参照した設備情報等と関係付けて入力できるために、入力した情報を短時間で設計部署等の関係部署に配信して関係業務に活用出来る。

提案方法は、業務支援システムにおいて、手書きメモという非定型情報を含む入力／参照インタフェースとして位置付けられ、既存の業務ＡＰに大きな変更を加えることなく、利用することが可能である。上記配電設備巡視業務の他に、生命保険会社における保険入会申込書の審査業務に適用し、申込書をイメージ情報に変換して計算機上で担当者間を回覧するという、イメージワークフローシステム[69]が試作されている。ここでは、例えば、申込書の既往症に記載されている病名は精密検査を必要とする等の情報を審査表のイメージ情報の上に書き込むことが出来、入会審査業務の効率を改善できることが分かった。そ

の外にも、金融機関において担当者が顧客先に出向いて顧客に金融商品情報を提供すると同時に顧客情報を入力する渉外員支援への適用、損害保険会社向け故障車両査定業務を対象にしたアジャスタ(査定者)支援への適用等が考えられる。

第４章

変種変量生産におけるスケジューリング支援エキスパートシステム構築のためのルールベースの構造化方法とルールベース処理の高速化方法

４．１　緒言

本章では、計算機タスクの処理を専門家の計画業務において許される範囲内に収めるために必要な、計算機処理の高速化方法を提案し、適用事例における評価を行う。事例として、(株)日本触媒殿におけるポリエステル樹脂工程スケジューリング業務において、専門家業務を支援するスケジューリングエキスパートシステムの構築を例に取り上げ、ルールベース処理の高速化方法を提案し、評価する。

近年製造業において、消費者ニーズの個性化に対応する変種変量生産が行われている。変種変量生産においては、製造工程スケジュール(以下、単にスケジュールと略す)を時々刻々変更して製造量や製造種別を調整して、所望の条件にできるだけ近い状態で製造を続けていくことが必要である。スケジュールを頻繁に変更する環境下では、すべての制約条件を満足するスケジュールを求めることは事実上不可能であることが多い。そこで制約条件を緩和するなどして実行可能性に重点をおいてスケジュールを作成すること(満足化)が必要となっている[64, 65]。

上記のスケジューリング作業は、製造装置や製品の特性についての知識や営業・販売など関連部署間の調整力を持つ熟練した専門家に限られるため、専門家の責仕・作業負担が

大きい。そこで、専門家を支援してスケジューリング作業を容易にするために、段階的なシステム構築[31, 32, 66](プロトタイピングアプローチ)が容易なスケジューリングエキスパートシステムの適用が進められている。専門家の手順(ロジック)はあらかじめ決められた特定のものではなく、製造現場の状況などのスケジューリングの環境条件に応じてヒューリスティックに変更されることが多い。したがって、段階的なシステム構築が容易なエキスパートシステム(ＥＳ)の利用が有効である。

しかし、実用ＥＳの構築において、専門家の詳細なスケジューリング知識を利用すると、ルールやフレームの数が膨大になり、ＥＳの処理性能が劣化して専門家支援が不可能となるという問題が生じている[35]。本章で取り扱うような製造装置の構成が複雑で製品の数が多い対象におけるスケジューリング問題においては、顧客からの個々の受注(オーダ)のスケジューリングのためにチェックされる製造装置や製品の属性が多い。専門家は、スケジューリングのために頻繁なバックトラックや膨大な組合せ計算を行っている。このため、プロダクションシステムを基本とするＥＳ構築ツールを用いて、専門家のスケジューリングロジックをそのままルールで記述すると、従来ＥＳが適用されてきた診断型などのシステムと比較して、ルール実行の際に膨大な条件照合処理(ルールとフレームとの間のマッチング処理)が必要となり、上記の問題が生じるのである。

従来から、知識ベースが比較的大規模になった場合の処理性能の劣化の問題が取り上げられ、高速化方式が提案されている[17, 33, 34]。しかし、これらの方式は上記問題に必ずしも有効と言えない。例えば推論アルゴリズムを改善する方式[17]は、対象問題によってその有効性が異なる。コンパイル方式を採用してフレームのスロット参照を高速化する方式[33]は、知識ベースが大規模になるとメモリの点でハードウェアの制約を受けることがある。また、一部の制約条件のみをチェックした部分スケジュールをＥＳが短時間で出力し、専門家がそれらを修正あるいは合成する方式[34]は、制約条件数が多い場合や制約条件が独立に緩和できない場合には、スケジューリングが短時間で収束しないことが多い。

本章では、変種変量生産におけるスケジューリング支援のために、上記処理性能の問題点を解決して実用的なスケジューリングＥＳを構築するという観点から、1) 専門家ロジックのうち、ルールで記述すると推論中に条件照合処理の負荷が大きくなる組合せ計算やバックトラックの部分を、局所的な最適解を求めたりバックトラックの発生要因を先読みするという処理負荷の小さい代替ロジックに置き換えてルールで記述する、2) 推論エンジンは、ルールの実行形態に対応して、推論中に条件照合処理が多く発生する部分ほど条件照合範囲を限定する、という２つの手段を用いて、ＥＳ構築ツールの推論アルゴリズムが持つデメリットを解消するように知識ベース中のルールベースを構築する方式を提案してい

る。以下、第４．２節では、本章で取り扱うスケジューリング問題について記述し、ＥＳ構築上の問題点を説明する。第４．３節で提案する条件照合処理範囲を限定することによるルールベース処理の高速化方式について述べる。さらに、第４．４節では提案方式をポリエステル樹脂工程スケジューリングに適用し、専門家支援の観点から見た提案方式の有効性について考察、評価する。

４．２ 製造工程スケジューリングへのＥＳ適用上の問題点

4.2.1 スケジューリング対象の特徴

本章で取り扱うスケジューリング対象について以下に記述する。

(1) 製造工程は多段複合工程である[56]。製造装置の接続状態により並列運転が制約を受ける場合がある。

(2) 製造装置と製造可能な製品の組合せが複数存在する。同一製造ラインで複数の製品を製造するために、段取り替えや加工手順の変更が必要である。

(3) 製造装置で一度に製造可能な製造容量に合せて製造を行うため、受注の分割や併合によるロットサイズの調整や、一時的な在庫が発生するような製造が行われる。

(4) 中間製品もまた製品同様に製造する。

(5) 受注納期が長短さまざまである。また、納期が非常に厳しいものと、環境条件によっては変更が許されるものがある。

4.2.2 対象におけるスケジューリングの特徴

上記のスケジューリング対象において、受注の納期を厳守し、より多くの製造を行うためのスケジューリングには、以下の特徴がある。

(1) スケジューリング時の制約条件が多くなる。例えば、次のようなものである。①製造装置上の制約条件：製造装置の遊び時間が少ない製造の組合せを優先する。②製造上の制約条件：原材料の製造を行ってから製品の製造を行う。③製品性質上の制約条件：段取り替えには時間がかかるので、段取り替えの少ない製品の組合せを優先する。

(2) 専門家は、環境条件に応じてロジックを柔軟に変更したり、ヒューリスティックなバックトラックを繰り返すという例外的なロジックでスケジューリングを行っている。これは、例えば納期の厳しい受注が緊急に入ってくると、スケジュールの組み直しを検討する必要がでてくるが、上記の多くの制約条件をすべて満足するスケジュールは存在しないことが多く、制約条件緩和が不可欠となる。さらに、制約条件緩和には、複数の制約条件が

関連することが多く、柔軟なロジックでないと対応が難しいためである。

4.2.3 ＥＳを適用する場合の通常の知識ベース構成

製造工程スケジューリングに対して、プロダクションシステムを基本とするＥＳ構築ツールを適用して、ＥＳを構築する場合、通常、以下のような構成を取ることが多い。

(1) 製造装置、製品、およびスケジューリングするオーダの名前や製造可能な装置等の静的な情報を、図 4.1 に示すようにフレーム形式で記述する。このフレームは、オーダのように、スケジューリング毎にテキストファイル形式で提供される場合には、ＥＳ構築ツールの持つフレーム生成ツールによって、自動生成される。この例では、製品Ａの名称を持つ製品が、装置ａで製造可能であり、装置ａでの処理に 30 分を要することを示している。

```
(製品Ａ
        製造可能装置      装置ａ
        処理時間          30
)
)
```

図 4.1 製品に関するフレーム記述の例

(2) 専門家からのヒアリング等を通じて、各オーダを製造可能な製造装置に割付ける際に考慮すべき制約条件、製造装置の状態等を、図 4.2 に示すように、ルールのＩＦ部分(条件部分)に記述する。この例では、フレームに記述された任意のオーダ「?オーダ」の製造可能装置名および処理時間を、それぞれ変数「?装置」「?時間」に、また、製造可能装置の利用開始時間を変数「?終了時間」に代入し、利用可能状態「?状態」の値が「利用可」であるかどうかをチェックすることを示している。

(3) ルールのＩＦ部分の条件を満足し、オーダを製造装置に割付けた後で必要となる製造時間の計算処理等を、同じく図 4.2 に示すように、ルールのＴＨＥＮ部分(実行部分)に記述する。この例では、「?装置」で製造可能な「?オーダ」があった場合、そのオーダの製造処理時間を「?装置」の処理終了時間を示す「処理終了時間」に足して更新することを示している。

```
(割付ルール１
    ＩＦ  (?オーダ  の  @製造可能装置  を  ?装置      とし
                        @処理時間      を  ?時間      とする  )
          (?装置  の  @処理終了時間  を  ?終了時間  とし
                        @製造可能製品  が  ?製品      であり
                        @状態          が  利用可      である  )
    ＴＨＥＮ
          (send  ?装置  assign ( 処理終了時間 , ?終了時間  +  ?時間  )
)
```

図 4.2　割付ルール記述の例

(4) 上記フレームおよびルールを知識ベースに実装することにより、知識ベースを構築する。推論エンジンは、ルールのＩＦ部分を満足するフレームの有無を繰り返しチェックして、推論処理を実行することで、製造装置に対するオーダの割付を実行する。

4.2.4　エキスパートシステム構築上の問題点

本章では、環境条件に従って制約条件を緩和して得られる満足解の１つを短時間で求めて専門家支援を行うという立場を前提としている。この前提のもとでは、ＥＳは専門家が短時間で修正可能な質の高いスケジュールを、専門家の作業ペースに合わせて出力することが必要である。

上記のＥＳを、推論アルゴリズムとして改良型ＲＥＴＥアルゴリズム[35]を適用した汎用のＥＳ構築ツールを用いて構築する過程で発生する問題を以下に示す。

(1) ＥＳの処理速度が劣化して、専門家の支援手段として実用的でなくなる。

改良型ＲＥＴＥアルゴリズムにおいては、推論実行前に、図 4.3 に示す条件照合用のネットワークを内部構成し、ネットワーク上の各節において条件照合処理を行うことにより、推論を実行している。

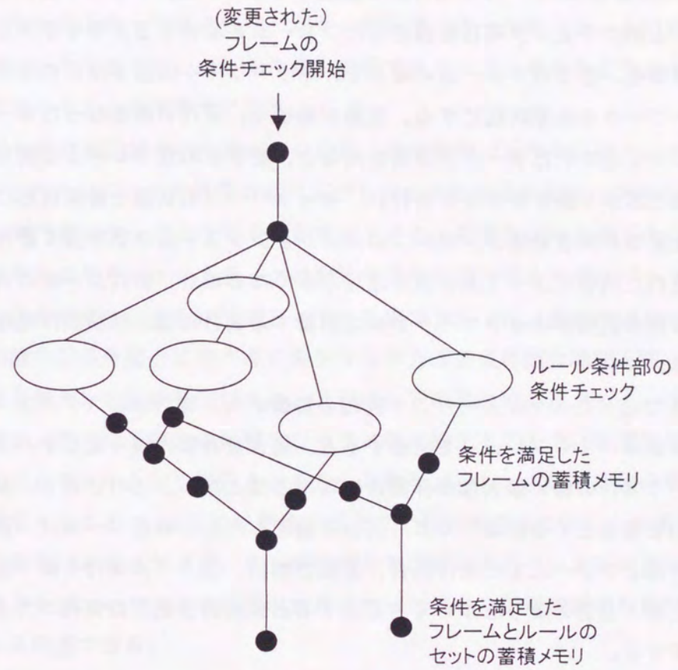


図 4.3 条件照合処理の概要

推論実行前に、まず、ルールの条件部によって条件照合のためネットワークを構成する。ここで、「○」印の部分は、ルールの条件部に記述してある各条件チェック項目を、また、「●」印の部分は、上部のチェック項目を満足したフレームを蓄積するメモリを示している。ネットワーク構成後、全てのフレームに関して、ネットワークの最上部から条件チェックを行い、ネットワークを初期状態にする。推論が始まり、実行可能となったルールが実行され、フレームに記述されたデータが更新されると、更新されたフレームに関して再度ネットワークの最上部から条件チェックを行い、ネットワークの状態を最新状態に更新する。このため、上記条件照合処理が少ないプロダクションシステムは効率良く動作するが、ルールに記述された内容によって条件照合処理が多くなる場合、特にルールの実行結果によって行われる照合処理がネットワーク全体に影響する場合には、推論実行処理速度の低下が顕著になる。

先に 4.2.2 で述べたスケジューリング問題の特徴から、専門家のスケジューリングロジックをそのままルールやフレームで記述すると、組合せ計算の繰り返しやバックトラックのためにルール実行の際に膨大な条件照合処理が必要となる。これに対し、ＲＥＴＥアルゴリズム[44]を基本とする推論アルゴリズムを適用したＥＳ構築ツールは、推論実行時に①ルール条件部とフレームとの条件照合、②競合解消、③ルール実行を繰り返して推論を進めているため、上記のようなルールを記述すると条件照合処理の負荷が大きくなって処理性能が低下する。

(2) 実用性を重視して、処理速度を維持するために知識ベースに記述するロジックを制限すると、得られるスケジュールの質が劣化する。

スケジューリングロジックを制限すると、対応できる環境条件が制限され、得られるスケジュールの質が劣化する。スケジュールの質の点で専門家支援のレベルを上げようとすると、タイムリにスケジュールを出力できないという点で、専門家支援のレベルを下げてしまうという矛盾を抱えてしまう。

４．３ 条件照合処理の局所化によるスケジューリング処理の高速化

ここでは、自然言語で表現できるＩＦ－ＴＨＥＮ形式のルールと、ルールによって処理される対象の静的なデータを表現するフレームを処理することの出来るハイブリッド型のエキスパートシステム構築ツール[29]を用いた場合の、スケジューリング処理を高速化するための条件照合処理の削減方法について述べる。

4.3.1 問題解決のための基本的な考え方

前節のＥＳ構築上の問題点から、ＥＳの処理性能を改善するためには前記のスケジューリングにおいて負担となっている処理、即ち、推論中にルールがフレームに記述されたデータを逐一チェックすることにより条件部を満足するルールがあるかどうかを判断する条件照合処理を減らすことが不可欠である。

この条件照合処理を削減するために、一般に、①対象ロジックの記述方法を改善する方法と、②記述されたロジックを処理するアルゴリズムを改善する方法とがある。ここでは、前者として、専門家ロジックのうちルールで記述すると処理負荷の大きくなる部分を、局所的な最適解を求めたりバックトラックの発生要因を先読みする代替ロジックに置き換えてルールベースを構築し、さらに後者として、推論エンジンは、推論中のルールの実行形態に応じて推論中に条件照合処理が多く発生する部分ほど条件照合範囲を限定して処理するという両者を併用した方法を採用する。これは以下の理由による。

(1) 処理負荷の大きくなる部分を代替ロジックに置き換えることで、まず推論実行時に条件照合対象となるフレーム数や実行されるルール数を減らし、次いで推論中の条件照合範囲を適切に限定することで、さらに条件照合処理を十分削減できるという効果が得られる。これにより、ＥＳによるスケジューリング時間を専門家の作業ペース以内に収めることができる。またスケジューリングの規模が大きくなった場合に処理性能が指数的に悪化するという状態から回避できる。

(2) 推論中の条件照合範囲を適切に限定することで、例えば、条件照合結果の保存処理の負荷を省くことを特徴とするＴＲＥＡＴ[71]のような、ＲＥＴＥの改善アルゴリズムを併用した場合の擬似効果を容易に得ることができる。ＲＥＴＥでは、ルールが実行されるごとに変化分の条件照合処理を行い、その結果をすべて保存する。一方、ＴＲＥＡＴは条件照合処理の結果の一部を保存しないことにより、処理負荷を軽減することを特徴としているが、どのような対象がＴＲＥＡＴに適するかは明らかではない。提案方法では、注目した条件照合範囲外のルールについては、それらが次に条件照合対象となるまで条件照合処理を行わないようにすることで条件照合処理の手間を省くという点で、ＲＥＴＥの利点を生かしながらＴＲＥＡＴのような改善アルゴリズムの効果を擬似的に得ようとするものである。

4.3.2 条件照合処理の局所化による推論処理の高速化の基本的な考え方

改良型のＲＥＴＥアルゴリズムを前提とした推論エンジンの条件照合処理を局所化、即ち条件照合範囲を限定することにより推論処理の高速化効果が得られる理由は以下の通り

である。

今、仮に、図 4.4 に示すように、ルール１、ルール２、…、ルールＮの条件照合用のネットワークが左から順に並ぶように生成できたとする。改良型のＲＥＴＥアルゴリズムでは、実行可能ルール現れるまで、ネットワークの左から順にフレームとの条件照合処理を行っていく。

ここで、左端のルールが常に実行される場合、条件照合処理の効率は最も良く、右端のルールが常に実行される場合が最悪である。平均して考えて、真ん中のルールが常に実行されると考えると、ネットワーク全体の左側の部分が、常に条件照合されると考えることができる。

従って、もし、フレームの条件照合処理の制御処理の部分を無視すると、ネットワークを半分に分けることで、約 2 倍の高速化が期待できることになる。実際の条件照合用ネットワーク構成は、上記のように単純なものではないが、基本的には上記の考え方に沿って、条件照合用のネットワークを分割することによって、推論処理の高速化効果が得られることになる。

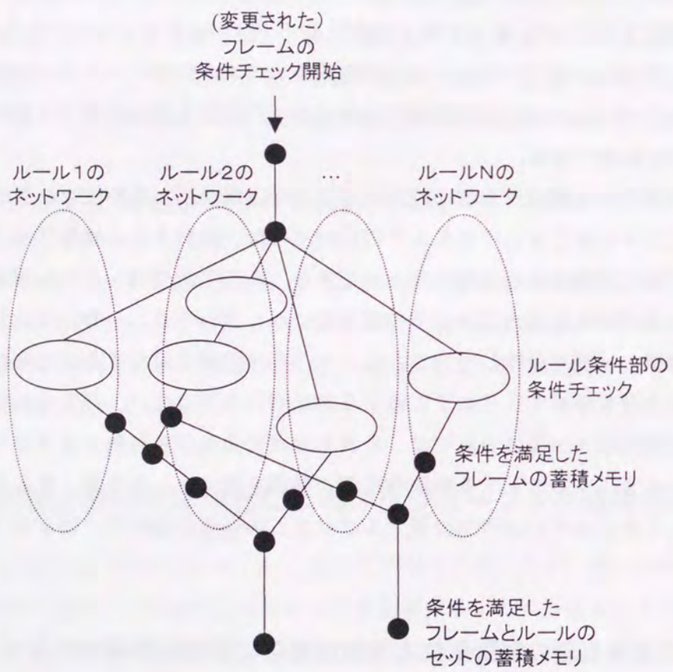


図 4.4　推論処理の高速化効果の基本的な考え方

4.3.3　条件照合処理範囲限定のための中間的な知識モデルの構築

条件照合範囲の限定を適切に行うためには、ルールで記述したロジックに沿って行われる推論中の処理、すなわち更新されるフレームの種類や数を調査することが必要である。ルール記述文法の制約のために、記述しようとするロジックどおりにルールベースを記述できない場合があるからである。

推論中の条件照合処理の負荷を軽減するための代替ロジックを用いる方法をプロトタイピングアプローチにおいて用いた場合、知識ベースに記述したロジックのリーダビリティの維持が難しくなるという不都合が生じる場合がある。知識ベースに記述されたロジックを専門家が直接理解することは通常難しい上に、専門家ロジックの一部を代替ロジックで置き換えるためである。

上記の不都合を解消するために、専門家の知識モデルと知識ベースとの間に、図 4.5 に示すように、推論実行時に処理性能を劣化させるロジックの替わりに、処理性能を改善する代替ロジックを用いた中間的な知識モデル(中間モデルと略す)を設ける。中間モデルとは、①専門家の知識モデルにおいて、前述の組合せ計算やバックトラックが原因で、使用するＥＳ構築ツールの言語で記述した場合に処理性能が劣化する部分を、例えば、図 4.5 に示すように、割付Ａ→割付Ｂのような順次処理を行うことで、このデメリットを解消する代替ロジックに置き扱えて、②専門家が理解可能な表現形式で記述したスケジューリングロジックである。中間モデルを設けることで、知識ベース中のルールを記述する過程でロジックの修正を繰り返しても、代替ロジックの内容と置き換えた箇所とを専門家自身が常に容易に把握できるようにする。ルールベースの構築は、中間モデルに記述したロジックをもとにして行う。

以下、4.3.4 に上記の基本的な考え方を反映して中間モデルを利用したルールベースの構築方法について述べ、4.3.5 に構築したＥＳの推論中の条件照合範囲を適切に限定するためのルールの分割方法について説明する。

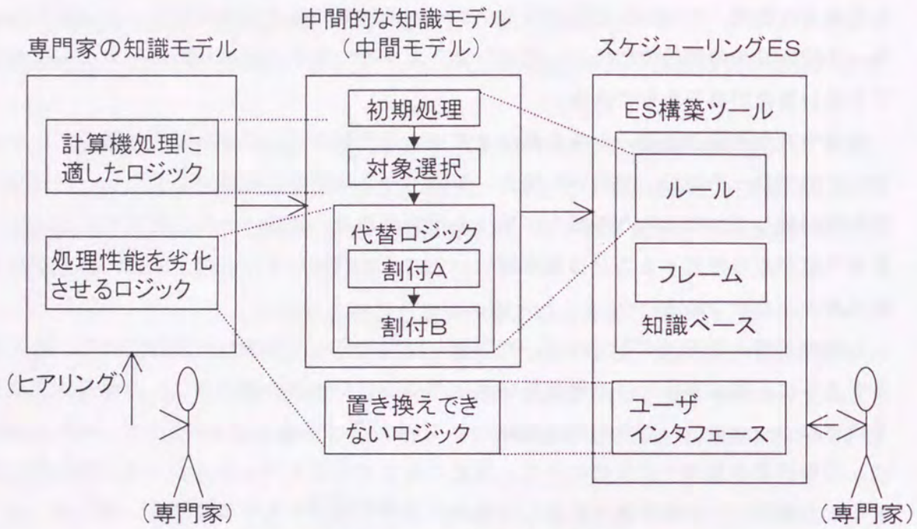


図 4.5　知識ベース構築手順の概要

4.3.4　代替知識を用いたルールベースの構築方法

ルールベースは以下の方法で構築する。

(1) 専門家のスケジューリングロジックをルールで記述する場合を想定し、推論時に処理性能劣化の原因となる組合せ計算やバックトラックが行われるロジック部分を明確にする。

対象とするスケジューリングにおいては、製造容量に合わせて一度に製造する量(ロットサイズ)を調整する処理、制約条件をチェックしてオーダと製造装置との対応を決定する処理(以下、割り付け処理と呼ぶ)などの部分が対応する。

(2) (1)で取り上げたロジックを次の手順で代替ロジックに置き扱えて中間モデルを構築する。

まずロジックを整理して、前処理、割り付け処理、割り付け修正処理などの部分問題に置き換え、一連のスケジューリング手順を設定する。

次に、各部分問題において、組合せ計算やバックトラックが行われるロジック部分を代替ロジックに置き換える検討を行う。これは、以下の 2 点を検討する。

①組合せ計算を減らすためには、局所的な最適解を求める代替ロジックを設定する。

②バックトラックをなくすためには、バックトラックの発生要因を調査し、あらかじめその要因を考慮した先読みの代替ロジックを採用する。

ここで、①の代替ロジックとは、例えば、専門家がスケジュール全体への影響を考慮しながら割り付けを決定しているのに対して、あらかじめ製造装置の割り付け順序を設定し、一装置だけに注目して割り付けを決定するロジックを指す。また、②の代替ロジックとは、例えば、通常未割り付けオーダが発生した場合に用いる製造の前倒し策を、適用条件を付して割り付けの途中に用いるロジックである。

もともと専門家はスケジューリングの過程ですべての組合せを考慮しているのではなく、一部の組合せを考慮しながらバックトラックを繰り返すことにより、少しでも多くの組合せを試すことによって満足解を求めている。したがって上記のような代替ロジックを設定することが可能となる。ただし、①に対しては、組合せ問題そのものが対象スケジューリング問題において本質的である場合には、組合せ計算を減らすための代替ロジックへの置き換えをすることはできない。本章では手続き型言語を用いてロジックを記述している。また、②に対しては、バックトラックの発生要因が明確にならない場合にはスケジュールが改善される保証がないので、そのようなロジック部分はルールベースから外して、専門家の手修正に委ねる。

(3) 中間モデルに記述したロジックをルールで記述して知識ベースを構築する。

以上の手順により、もとの専門家ロジックと比較して条件照合量の少ない知識ベースが

構築できる。次に、推論中の条件照合範囲を適切に限定するためのルールベースの分割方法を示す。

4.3.5　条件照合範囲の限定によるルールベースの分割方法

ここでは、推論中の条件照合範囲の限定を、図 4.6 に示すように、条件照合のためのネットワークを分割するという形式で具体化する。実際のネットワークの分割は、推論エンジンを改造して、知識ベースに記述するルールを格納するファイルを分割し、推論エンジンが分割したファイル毎に条件照合のためのネットワークを構築し、それらを順次処理するようにする。

説明の便宜のため、まずルールの分割方針をまとめ、次にそれを用いた詳細なルールの分割手順を示す。

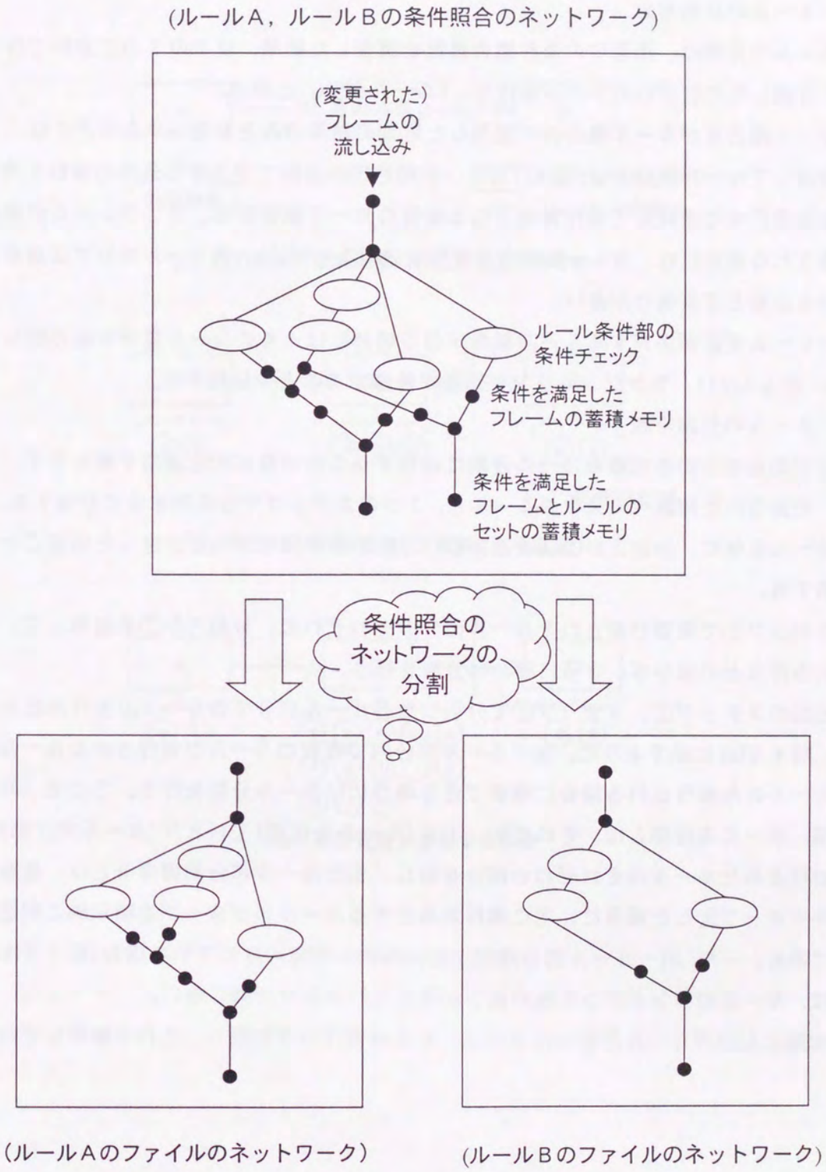


図 4.6　ネットワークの分割による条件照合範囲の限定

(1) ルールの分割方針

ルールの分割は、推論中の条件照合処理を調査した結果、以下の 3 つの方針で行う。なお、分割したそれぞれのルール集合を、「ルール部分」と呼ぶ。

①ルール集合Ｂがルール集合Ａで発生した処理の結果のみを必要とする場合には、ＡとＢを分割してルール部分とし(図 4.7(a))、中間処理の段階で発生する処理の無駄を省く。

②推論実行中に連続して実行対象となる複数のルール集合間で、同じフレームが連続して更新される場合には、各ルール集合を分割する(図 4.7(b))。各ルール部分では最新の情報だけを必要とする場合が多い。

③フレーム更新が多発するルール集合がある場合には、そのルール集合を他の部分から分割し(図 4.7(c))、スケジューリング処理が停滞することを緩和する。

(2) ルールの分割手順

上記の分割方針を実際のルール分割に適用するための具体的な適用手順を示す。ここでは、記述された知識ベース中のルールを、3 つのステップで各処理単位に分割する。

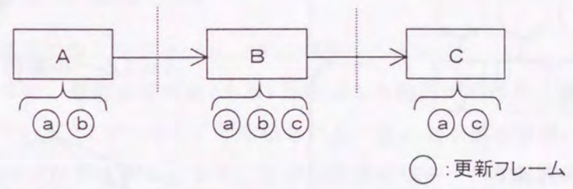
①ルール全体に、分割方針①②を適用し、ルールを中間モデルで設定した処理ごとに概要分割する。

②ステップ①で概要分割されたルール部分のそれぞれに、分割方針②を適用して、個々の制約条件などの面から、さらに細かい分割を行う。

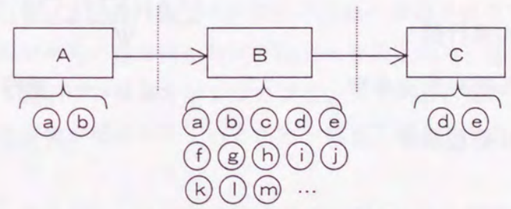
③上記のステップ①、ステップ②で分割した各ルール部分でのルールの実行形態を解析して、図 4.8(a)に示すように、同一ルール部分内で複数のルールが実行されるルール部分が 1 ルールのみ実行される場合に帰着できる場合にはルール分割を行う。ここで、ルール条件部、ルール実行部とは、それぞれ、ＩＦ(ルール条件部)ＴＨＥＮ(ルール実行部)の形式で表現されたルールのそれぞれの部分を指し、またルール部分制御命令とは、複数のルールをグループ化した場合に、次に実行対象とするルールのグループを明示的に指定する命令である。一方、同一ルール部分内で 1 ルールのみが実行されている場合(図 4.8(b)、(c))には、ルールのメンテナンス性の低下が考えられるので分割しない。

実際に上記のルール分割を行うには、ＥＳの実行ログを取り、これを解析して行う。

(a) 次の処理で最終結果のみを必要とする場合



(b) 同じフレームが連続して更新される場合



(c) フレームの更新が多発する場合

図 4.7　ルールの分割規則

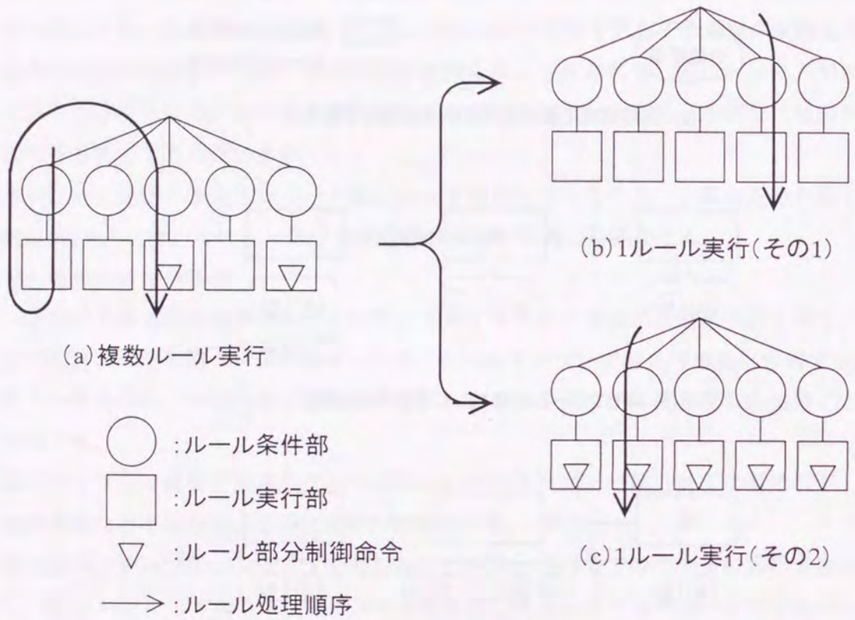


図 4.8　ルールの分割基準

4．4　ポリエステル樹脂工程スケジューリングへの適用

以上のスケジューリング支援のための提案方式を検証するために、提案方式を日本触媒化学工業(株)殿(現、(株)日本触媒殿)におけるポリエステル樹脂の製造工程に適用[72]して、その結果を解析した。なお、ＥＳ構築ツールとして、推論中の条件照合範囲を限定することが可能な、汎用かつルール、フレームを処理可能なツール、ＥＳ／ＫＥＲＮＥＬ／Ｗを用いた。

4.4.1　適用事例

(1) ポリエステル樹脂工程スケジューリングの概要

図 4.6 に示すように、製造装置は釜(かま)と呼ばれる電気炉であり、通常、釜はパイプで数段に連結されている(以下、パイプで連結された一連の釜を製造装置、個々の釜を単に釜と呼ぶ)。原料は液体原料をタンクから、また粉体原料はホッパから投入される。製造工程は、基本的に混合、反応、成分調整の 3 段である。釜の遊び時間を減らすため、工程Ａ、工程Ｂの２段階の釜を使用して製造を行う場合、工程Ａの釜で作られた中間製品を、次の工程Ｂの釜に移した後、工程Ａの釜では次の中間製品の製造が続けて開始される。この時、工程Ｂの釜が空く時間がその釜の開始時間を決める要因となる。図 4.9 における原料タンク、原料ホッパから製品タンクまでが１つのプラントであり、通常、一工場に十数種のプラント、つまり製造装置が構成されているため、製造工程のスケジューリングは非常に複雑なものとなる。

上記のスケジューリングは、釜のやり繰りを行うことから、釜繰り作業と呼ばれる。釜繰り作業は、受注を示す営業情報や在庫管理システムからの在庫情報などを入力とし、どの製品を、どの製造装置で、いつ製造するのかを決定する作業である。また、製品と製造装置との対応を決定する作業を割り付け作業と呼ぶ。この割り付け作業は、図 4.10 に示すように、顧客から受けた受注をもとにした計画データを、制約条件に照らし合せながら、製造日付・時間と製造装置・工程を示すスケジューリング表に割りつけていく作業となる。

(2) 制約条件

割り付け作業時にチェックされる制約条件は、連続生産可能な製品の組合せなど、十数種類である。以下に代表的な制約条件を示す。

①連続生産時の製品の組み合せ

異なる製品を同一製造装置で連続生産する場合、製品間の組み合わせの良いものを連続して割り付ける。組み合わせの悪い製品を連続生産すると、コンタミネーションと呼ばれ

る凝固反応を起こし、製品品質の低下や釜のトラブル発生などの問題が発生する。

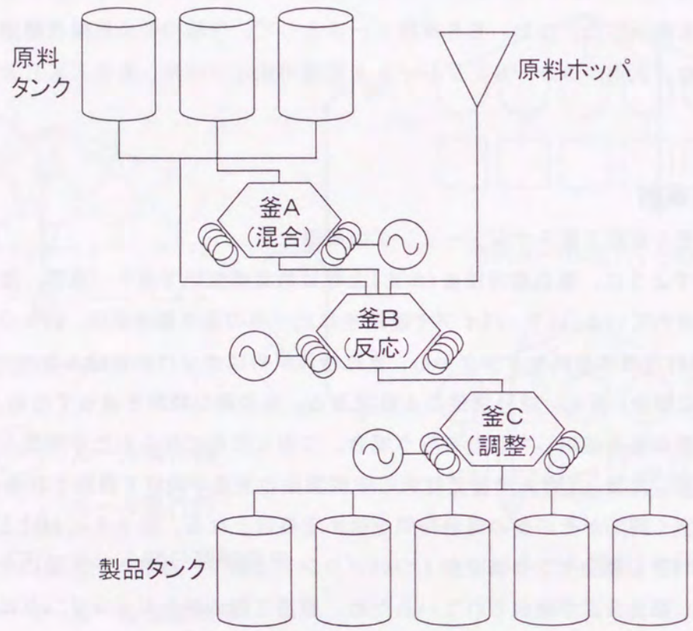


図 4.9　製造装置の構成

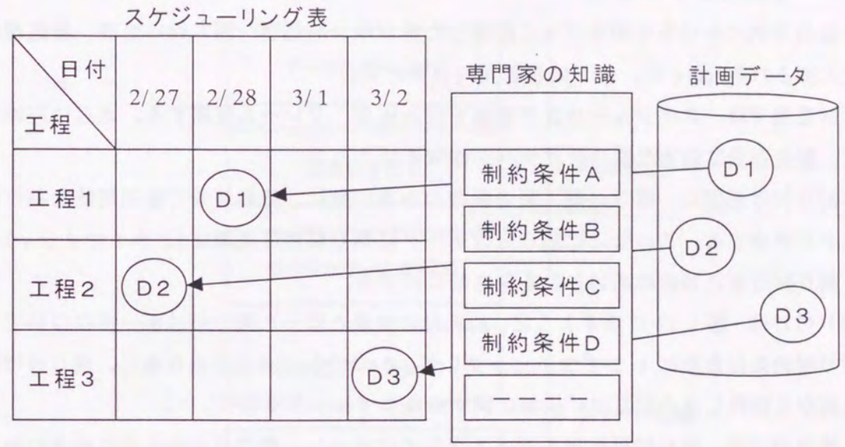


図 4.10　受注データの製造装置への割り付け

②自社製造原料

原料の中には、製造装置を使って自社で製造する場合がある。自社製造原料を使用する製品を割り付ける場合、その原料の在庫が無ければ、製品の割り付けを決定する前に使用する原料を優先して割り付ける。

③タンクローリー車による製品の直送

製品の受注形態には、容器に詰めるもの以外に、タンクローリー車により、釜から受注先の受け入れ装置へと直送するものがある。この場合、受注先の受け入れ装置の空き状態に合せて製品を搬送する必要があるため、納期を時間単位で守る必要がある。また、製品容量に合ったタンクローリー車が製品生産時に存在するかという条件も考慮しなければならない。この直送製品の割り付けデータを、直送情報と呼ぶ。

④受注の併合、分割

釜の容量を有効に利用して製造を行うため、同一製品の受注の併合や分割を行う。受注データに対して、併合、分割後のデータを製作情報と呼ぶ。

⑤製造装置稼働排他制御

製造装置間には、人的要素、構造上の条件などにより、同時に稼働できない排他関係にあるものがある。

4.4.2　中間モデルの構成

本適用事例における中間モデルに記述した処理は、前処理、割り付け処理、後処理の 3 つに大別される(図 4.8)。以下に各処理内容を示す。

(1) 前処理では、スケジューリング情報を読み込み、フレーム展開する。さらに在庫引き当て、製造容量に最適な割り付けデータ作成を行う。

(2) 割り付け処理は、曜日の順、製造装置の小さい順に、その装置で製造可能な割り付けデータを決定する。この時には割り付けデータに割り付け優先順位(プライオリティ)を設け、割り付け優位順位の高いものを先に割り付ける。

割り付けは、図 4.11 に示すように、割り付け対象となった割り付けデータについて十数種類の制約条件を順に 1 つずつチェックして、1 つでも不満足である場合、割り付け候補の対象から除外し次の割り付け候補に関する条件チェックを行う。

(3) 後処理では、割り付け結果をディスプレイに表示し、専門家の割り付け結果の修正を促す。

4.4.3　知識ベース内のルールの分割

中間モデルに記述したロジックをもとに構築した知識ベース中のルールは、以下の手順で分割した。

(1) ルール全体を、①前処理(約 60 ルール)、②割り付け処理(約 190 ルール)、③後処理(約 10 ルール)に分割した。この分割は、中間モデルに記述したロジックに沿った分割である。

(2) (1)で分割した各ルール部分を、①の前処理については、フレームが多量に生成されたり、更新されたりするため、10 のルール部分に分割した。②の割り付け決定処理については、オーダの優先度やチェックする制約条件に着目して 18 のルール部分に分割した。③の後処理については、次回スケジューリングのためのルール部分、スケジューリング結果の出力を行うルール部分に着目して 4 のルール部分に分割した。

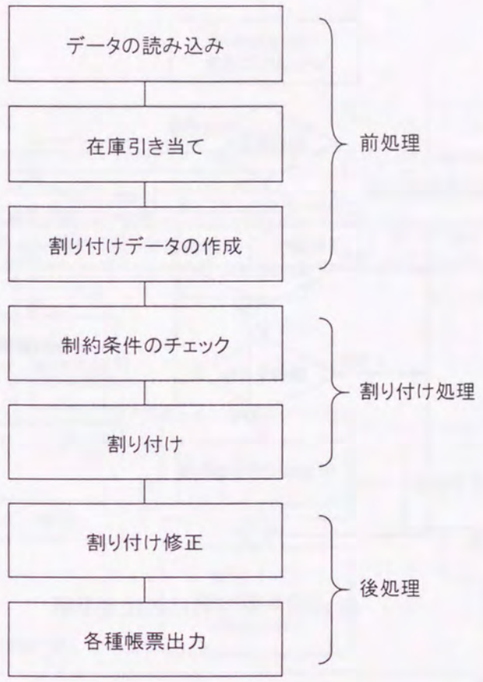


図 4.11　推論の流れ

先述の分割方針に従えば、記述した知識ベースをほぼ機械的に分割できる。特に分割効果があるのは、条件照合処理が多発する割り付け処理部分の分割である。

(3) 推論実行中に各ルール部分で実行されるルール数を調査した結果、各オーダの割り付け後、割り付けを続行するか、終了するかを判断するルール部分などで、複数ルールが実行されるルール部分があったので、これを分割した。

図 4.12 に、実際に構築したシステムのシステム構成(ハードウェア、ソフトウェア構成)の全体像を示す。本章で説明している部分は、図中の釜繰りスケジュールの部分である。

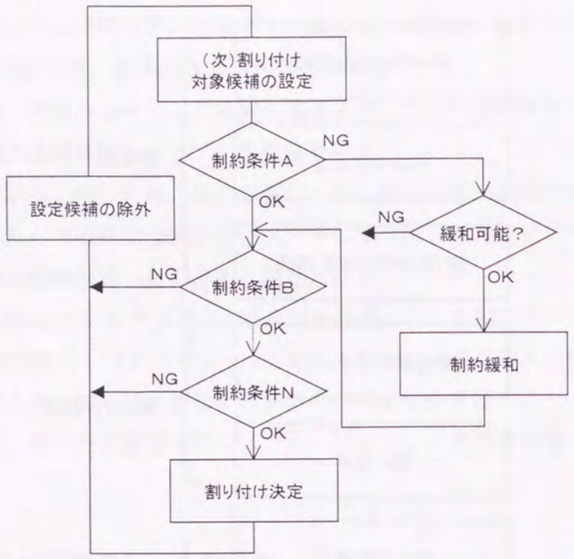


図 4.12　割り付けの決定手順

4．4．4 評価

従来の手作業と本システム導入後を比較して、専門家支援の観点から見たルールベース処理の高速化効果の評価を行う。

(1) エキスパートシステムを利用した場合のスケジュール立案時間は、本システムの導入により、従来のようにスケジューリングのすべてを専門家が手作業で行う場合と比較して、1/5 程度に短縮することができた。例えば専門家が週 1 回 1～2 日かけて翌週分のスケジューリングを行う作業を、本システムを利用することにより 3～4 時間程度で行うことができる。

スケジューリング時間の短縮により、緊急な再スケジューリングが容易になった。

また、ＥＳによるスケジュールの代替案作成処理部分についてみると、本章で述べた代替ロジックの採用方法を用いて構築した同一のルールに対して推論中の条件照合範囲を限定したことによる計算機処理の高速化効果を図 4.14 に示す。条件照合範囲を限定した場合のルールの実行速度は条件照合範囲を限定しない場合の約 4 倍であった。しかし、代替ロジックに置き換えたことによる計算機処理の高速化効果は、バックトラックの発生要因を

明確にすることが難しかったため正確ではないが、数倍～十数倍程定であると考える。

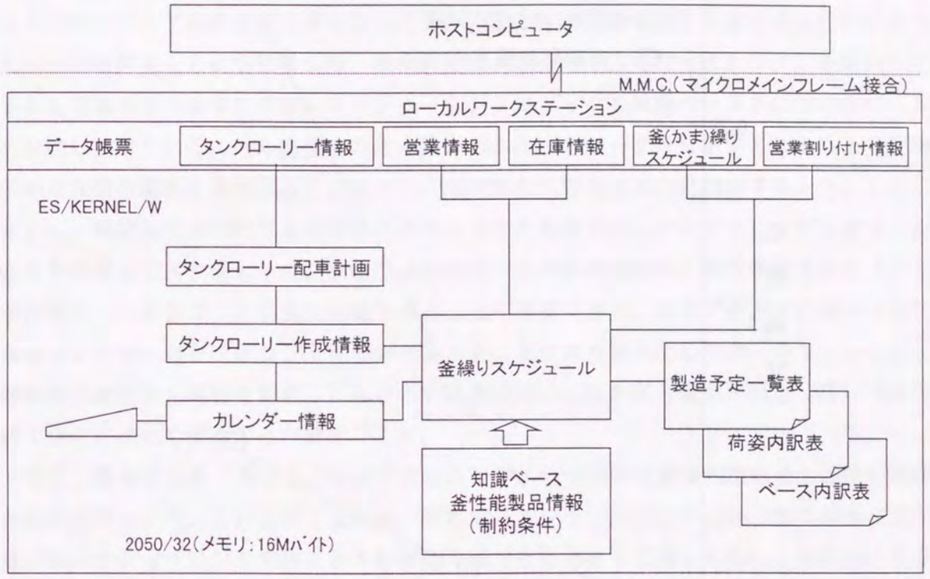


図 4.13　ハードウェア，ソフトウェア構成

(2) ＥＳによる割り付け結果について、割り付け可能な計画データの数が減少する等の質の劣化はなかった。また、専門家から、「大きなトラブルを発生することなく製造を行うことが可能であるが、割り付け結果の 2 割程度のデータに関してオーダの組合せや割り付け製造装置の選択を変更するとさらに数受注の割り付けが可能となり、より製造効率の良いスケジュールとなる」という評価を得た。代替ロジックを採用したことによるスケジュールの質の劣化を専門家の許容範囲に収めることができたと考える。

(3) 提案方式では、中間モデルを設定して本来の専門家のロジックを間接的に構造化することで、システム構築後に専門家本来のロジックについて知ることを可能にしているため、構築したＥＳを次の世代の専門家の育成に使用することも可能である。

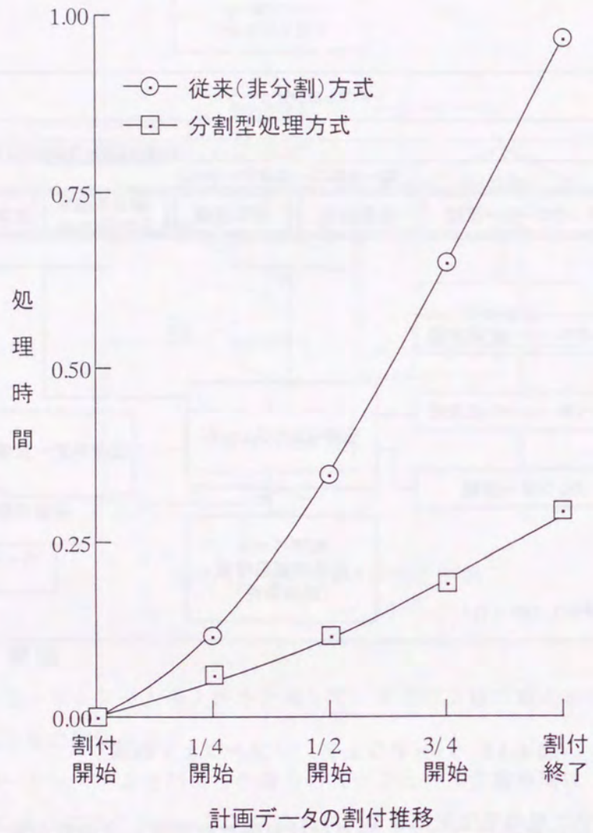


図 4.14　割り付け時間の比較

(4) 提案方式の適用経験から、1 ルール部分で 1 ルールが実行されるような分割については、ルールの構造化が十分行われているかどうかの見直しのために有効であることが分かった。

4．5 結言

本章では、専門家と計算機とがマンマシン協調型でスケジューリングを行うという前提のもとで、専門家がスケジューリング業務を許される時間内で行うことができるように、スケジューリング処理を行うエキスパートシステムの計算機処理を高速化するためのルールベースの構造化方式を提案した。具体的には、①システムのリーダビリティを維持したまま計算機処理の負荷の小さいスケジューリングロジックを知識ベース中のルールベースに記述し、さらに②ルール処理中の条件照合用のネットワークを分割することにより推論中の条件照合範囲を限定することにより、条件照合処理を効率的に削減するようにした。さらに、提案方法を(株)日本触媒殿のポリエステル樹脂工程スケジューリングに適用したＥＳを利用してスケジューリングを行った場合、その作業時間は、専門家がそのすべてを手作業で行う場合の 1/5 程度に短縮できることが確認できた。また、本方式に従って専門家ロジックの一部を代替ロジックに置き換えることにより構造化した同一のルールに対し、推論中の条件照合範囲を限定した場合の計算機処理は、条件照合範囲を限定しない場合の約 4 倍に高速化できることが確認できた。

また、提案方法を、ペイント製造の工程スケジューリングに適用した結果、同様の高速化効果が得られた。これらのことから、頻繁なスケジュール変更が必要となる変種変量生産下のスケジューリング支援にＥＳが適用可能であるという見通しを得た。構築したＥＳをより実用性の高いものにするためには、制約緩和などの知識獲得の充実が必要であると考える。

第５章

結論

５．１　本研究のまとめ

本章では、第２章から第４章で述べた本論文の研究結果について論じる。本論文では、マンマシン協調業務における知識処理方式に関して、専門家と計算機との間のタスク分担を円滑に行うための知識ベース構築の考え方、環境情報を業務知識として計算機に取込む方法、および知識ベースの推論処理の高速化方法の３つの観点から研究をまとめた。

5.1.1 タスク分担を円滑に行うための知識ベースの構築と評価

知識ベース構築の考え方の課題については、通販業における売上高予測業務の一環である顧客セグメンテーション業務を対象として、専門家の顧客履歴データ分析を支援するエキスパートシステムの知識ベースを構築し、専門家の業務支援における有効性を評価する内容について、第２章で述べた。

アパレル商品を取り扱う通販業においては、商品の需要(販売量)予測を精度よく行うことが重要な課題である。シーズン毎の計画的な商品の生産、販売を行うために、通販業で主流となっているダイレクトマーケティングの分野では、データベースに蓄積した顧客の購買履歴等の顧客データを商品毎に重回帰分析を用いて分析し、販売量を予測する方法が用いられている。しかし、近年では、経験豊富な専門家が上記計算機分析を用いても、実用的時間内で満足な分析結果を得ることが困難になっている。

そこで、第2章では、専門家が売上高予測式の作成を効率良く短時間で行うために、分析に必要な専門家の計画知識を重回帰分析ツールへの入力となる説明変数の数が初期の1/20～1/30前後になるまで、説明変数の持つ属性値によって手続き的に順次自動的に削除するような、知識ベース構造の考え方を提案した。さらに、提案方式にもとづいたエキスパートシステムを構築し、エキスパートシステムが出力した説明変数群を、専門家が計算機と対話的に取捨選択する、エキスパートシステム併用方式を提案した。構築したエキスパートシステムを用いて分析を行った場合と、専門家が手作業により分析を行った場合を評価した結果、専門家による知識ベースの可読性を損うことなく知識ベースが構築できていることが分かった。さらに分析結果の質を落とすことなく、分析にかかる作業時間を約1/3に短縮できた。

5.1.2 環境情報を業務知識として計算機に取込む方法

環境情報を業務知識として計算機に取込む方法に関する課題については、配電設備巡視業務を取り上げ、専門家が、巡視後の保守計画業務における環境情報を現地において計算機に取り込む方法について、第３章で述べた。

製造・電力・損保・金融・流通業界等の分野では、巡視・渉外・営業業務など、オフィスの外での業務の重要性が増しつつある。巡視業務においては、設備のある現地に赴いてデータベースに蓄積した設備情報を参照するだけでなく、チェックした項目を入力したり、さらに周辺の環境情報までも現地で入力してオフィスに持ち帰り、共有情報とすることが求められている。上記の外部活動を支援するため、ペンインタフェースを有する携帯端末を適用したシステムが提案されているが、従来方式のインタフェースでは必ずしも十分使い勝手の良い実用的なインタフェースを提供できない。実業務の現場では、業務プログラムを構築する際には想定しなかった種々の事故や災害が発生するため、その状況に柔軟に対応するインタフェースを提供できていないためである。

そこで第３章では、業務ＡＰ画面全面をイメージ情報に変換して画面に表示し、その上に書く手書きメモをベクトル情報として蓄積する手書きメモ入力機能、および手書きメモの入力終了時に、業務ＡＰのイメージ画像と蓄積した手書きメモ情報を合成して一枚のイメージメモを作成するイメージメモ管理機能を提案した。これにより、現地での業務において、環境情報の入力が必要になった任意のタイミングで、関係する業務ＡＰの画面のどこにでも、手書きメモとして環境情報を入力することが可能になった。

さらに、提案機能をペンＰＣ上にイメージメモインタフェースとして実装する方法を示し、電力会社における配電設備巡視業務に適用して評価した結果、現地において環境情報を容易に取込めることが分かった。さらに、現地で環境情報を計算機に入力することによって、巡視業務からオフィスに戻ってきた後にかかる環境情報のアップロードのための業務時間を 1/10 程度に短縮出来ることが分かった。

5.1.3 知識ベースの推論処理の高速化方法

知識ベースの推論処理の高速化方法における課題については、ポリエステル樹脂製造工程スケジューリングにおけるスケジューリングエキスパートシステムを例に取上げ、専門家が許される業務の時間内でスケジューリングを行うための推論処理の高速化方法について、第4章で述べた。

近年製造業において、消費者ニーズの個性化に対応する変種変量生産が行われている。変種変量生産においては、スケジュールを時々刻々変更して製造量や製造種別を調整して、所望の条件にできるだけ近い状態で製造を続けていくことが必要である。このスケジューリング作業は、製造装置や製品の特性についての知識や営業・販売など関連部署間の調整力を持つ熟練した専門家に限られるため、専門家の責仕・作業負担が大きい。そこで、専門家を支援するためにスケジューリングエキスパートシステムの適用が進められている。しかし、実用ＥＳの構築において、専門家の詳細なスケジューリング知識を利用すると、ルールやフレームの数が膨大になり、ＥＳの処理性能が劣化して専門家支援が不可能となるという問題が生じていた。

そこで、第4章では、推論実行処理のための条件照合範囲を限定することによる推論処理の高速化効果を分析した。さらに、計算機処理の負荷の小さいスケジューリングロジックを知識ベース中のルールベースに記述した上で、ルール処理中の条件照合用のネットワークを分割することにより推論中の条件照合範囲を限定して条件照合処理を効率的に削減するようにした。提案方法をポリエステル樹脂工程スケジューリングに適用するため、まず知識ベースを記述する際に、バックトラックを起こさないように割付条件を先読みする代替ロジックを採用した中間モデルを構築し、ルールを記述するようにした。次に、記述した知識ベースを、前処理、割付処理、後処理の部分でルールを分割し、さらに、割付処理の部分でルールを詳細に分割した。提案方法を適用したＥＳを利用してスケジューリングを行った場合、その作業時間は、専門家がそのすべてを手作業で行う場合の1/5程度に短縮できることが確認できた。また、本方式に従って専門家ロジックの一部を代替ロジックに置き換えることにより構造化した同一のルールに対し、推論中の条件照合範囲を限定した場合の計算機処理は、条件照合範囲を限定しない場合の約4倍に高速化できることが確認できた。

5．2　残された研究課題

本論文では、計画業務における専門家と計算機によるマンマシン協調業務における知識処理方式に関する研究の成果について述べた。近年、特にインターネットを用いたネットワーク社会においては、専門家が刻々移り変わる計画条件や環境情報を、より早く把握し、迅速かつ的確な判断を行うことが出来るかどうかが、企業にとっての死活問題である。実業務で活用できる知識処理方式に関して、まだ多くの研究課題が残っている。

今後の研究課題は、ネットワーク社会におけるより一層の専門家支援方法を具体化することと考える。インターネットを用いたネットワーク環境が社会へ浸透したことによって市場の感度が高くなり、製品やサービスをタイムリに市場に提供することは、ますます難しくなっている。このため専門家は、自分の部署だけでなく、関係する上流、下流の部署と情報を滞りなく授受して計画業務を遂行しなければならない。さらに、計画に沿って市場に提供した製品やサービスに対する顧客やユーザの反応を、次の計画業務に有効に反映していかなければならない。これらの要求に応えるために、専門家が行うべき計画業務の付加価値を高めて行く手段を提供することが必要である。

上記の専門家支援方法を具体化するためのアプローチとして、情報の授受を専門家の属する部署や企業で円滑に行うフェーズと、関係する企業間において円滑に行うフェーズとに分けて考察することが有益と考える。まず、前者においては、複数の専門家の共同作業を知的に支援するために、分散知識処理に関する技術を具体化していかなければならない。本研究では、基本的に一人の専門家が限られた時間の中で計画業務を効率的に行うための支援方法について述べた。企業組織の中においては、製造、営業、設計等、複数の部署があり、これらが相互に情報を授受して一つの企業活動を実現している。専門家が業務遂行のために用いる計画条件は、他部署の専門家の業務結果から得られる場合もあり、このような専門家間の情報の授受を知的に支援することにより、企業全体としての計画業務がより効率よく遂行されると考える。複数の専門家間の協調を実現するために、計画条件や環境情報を専門家が後々業務の過程でタイムリに引き出して活用できるような蓄積／検索技術が課題となる。また、専門家が挙げた情報観点をもとに、日々移り変わる蓄積情報にトリガを掛けて情報検索をしたり、検索した情報を対応が必要な部署に送り届けるようなエージェント技術が課題となる。さらに、上記エージェント技術を計算機上に実装するための基盤となるオブジェクト指向技術やワークフロー技術を組み合せて、実業務の中でより有効に活用できる支援システムの形を見出すことが課題である。

一方、後者においては、近年計画条件や環境情報を、企業内だけではなく企業間でも授

受／共有し合って、各々の企業活動を遂行する技術を具体化していかなければならない。既に関連／協力会社としての関係を結んでいる企業間でその結びつきを強化するだけでなく、自企業の弱みを補い、強みを増強するために、企業間で機能レベルのアライアンスが結ばれることも多くなっている。このように企業間、さらにはユーザまで含めた情報授受／共有を実現する技術として、サプライチェーンマネジメントを実現する技術に対して市場の期待が大きい。そこでは、一企業内の情報だけではなく、広く関係企業や顧客の情報までも含めた情報サプライチェーンを実現するサプライチェーンマネジメントの技術や、そのサプライチェーンの中で、専門家業務の付加価値を高める手段を提供する技術が必要である。サプライチェーンマネジメントのシステム化を実現するためには、企業間での情報授受／共有をオープンな企業間ネットワーク上で実現することが必須である。このため、専門家が業務の中でレスポンス良くシステムを利用できるように、ネットワーク全体の負荷分散や情報蓄積／検索技術が課題である。さらに、専門家が上記の情報蓄積／検索をオープンな企業間ネットワーク上で安全に行えるように、セキュリティ技術を組み合わせ、なおかつ実用的なレスポンスを損なわないようにシステム化することが課題である。

謝辞

本研究の全過程を通じて、終始懇切丁寧なるご指導とご鞭撻と格別のご配慮を賜りました大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻 薦田憲久 教授に心から感謝申し上げます。

大学院博士後期課程において、情報システム工学全般に関して親切なるご指導とご助言を賜るとともに、本研究をまとめるにあたって貴重なお時間を割いて頂き、丁寧なるご教示を賜りました大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻 西尾章治郎 教授、下條真司 教授に謹んで深謝の意を捧げます。

大学院博士後期課程において、情報システム工学全般に関して親切なるご指導とご助言を賜りました大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻 村上孝三 教授、白川 功教授、藤岡 弘 教授に深く感謝申し上げます。

(株)日立製作所関西システムラボラトリ設立後、本研究の推進全般、本論文の執筆に際し、長年上司として厳しくかつ暖かいご指導を賜るとともに、度々貴重なお時間を割いて頂いた矢島敬士博士に心から感謝致します。

本研究の推進にあたり、数多くの議論を頂き、親切なるご指導を賜った、大阪大学産業科学研究所知能システム科学研究部門 溝口理一郎 教授、同大学大学院基礎工学研究科システム人間系専攻 田村坦之 教授、及び立命館大学理工学部機械システム系・ロボティクス学科 渡部 透 教授に深く感謝申し上げます。

本研究は、(株)日立製作所システム開発研究所において、社内外の多数の方々のご指導ご助力を得て実施したものがベースとなっている。本研究の機会を与えて頂くとともに、その方向性についてご指導頂いたシステム開発研究所の所長であった堂免信義氏、春名公一博士、現所長の片岡雅憲氏に、心から御礼申し上げます。また、顧客に対する実システム構築に際し数多くの議論を頂くとともに、その方向性についてご指導頂いた三森定道博士(現同志社大学教授)、明石吉三博士(現桃山学院大学教授)に、厚く御礼申し上げます。

同所石原孝一郎博士(現拓殖大学教授)、森文彦博士、安信千津子博士(現(株)日立総合計画研究所)、増位庄一氏、絹川博之博士(現東京電機大学教授)、広瀬正氏(現情報・通信グ

ループ)、水野浩孝博士には、著者の上司として、また共同研究者として、本研究と論文をまとめる動機付けとその機会を与えて頂いたうえ、熱心なご指導と暖かい励ましを頂き、心から感謝致します。

また、業務の傍らで本論文を纏めるにあたり、数々の暖かいご配慮を頂きました、企業間ＥＣ推進本部の瀬戸 操氏、斉木吉彦氏に、心から御礼申し上げます。

本研究は、(株)日立製作所のビジネス分野における知識工学応用技術、ヒューマンインタフェース技術の研究の一環である。そのため、情報システム事業部の杉本浩氏、奥出聡氏、田辺浩子氏、川田治男氏、合田智明氏、松尾政美氏(西部ソフトウェア(株))、上原政男氏、須谷誓紀氏、故山中止志郎氏、浜崎孝志氏、亀田達也氏(現アンダーセン コンサルティング(株))、ソフトウェア事業部の礒辺寛氏、吉村紀久雄氏、小塚潔氏、情報機器事業部の鬼丸博哉氏、町田哲夫氏、奥村幸三氏、関西支社の桑原芳之氏、酒井修一氏、吉田俊之氏、中部支社の加藤英一氏、新美輝明氏、中国支社の澤田盛繁氏、豊島和明氏を始めとする多くの方々に、問題の所在をご教示頂くとともに、有益なご指導、ご討論を頂いきました。心から御礼申し上げます。

また、本研究は、システム開発研究所の先輩、同僚、後輩との討論に刺激を受けて進めたものであり、システム開発研究所の辻 洋博士、増石哲也氏(現システム開発本部)、芳賀博英博士(現同志社大学助教授)、田野俊一博士(現電気通信大学助教授)、伊能弘一郎氏(現情報システム事業部)、古賀明彦氏、秋藤俊介氏、阪口俊昭氏、森圭子氏、田中厚氏には、様々なご協力とご援助を頂きました。心から御礼申し上げます。

特に、第３章に関して、新崎義雄氏(現松下電器産業(株))には、プログラム開発を含め研究の一翼を担って頂きました。厚く御礼申し上げます。

また、本論文の第２章は、(株)ニッセン殿における顧客セグメンテーション支援システム開発時の成果に関するものである。研究の機会を与えて頂き様々な便宜を図って頂いた通販事業部企画管理本部の諸江孝広取締役、情報システム部の市場信行取締役に心から感謝致します。また、本論文の第４章は、(株)日本触媒殿における釜繰りスケジューリングシステム開発時の成果に関するものである。研究の機会を与えて頂き様々な便宜を図って頂いた事務部の小島保郎氏、釜繰りスケジューリングの専門家として製造知識やスケジューリング知識を教えて頂いた製造部の垣内義尚氏に心から感謝致します。

さらに、本論文の執筆にあたり、何かと便宜を図って頂き、有益なるご助言、暖かいお心遣いを頂きました大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻 大川剛直 助教授、一階良知 助手、湯本真樹 助手に厚く御礼申し上げます。

最後に、本研究の推進にあたり、いつも暖かく励ましてくれた、父、母に深謝致します。

参考文献

[1] 三森定道：企業戦略と情報システム，電気学会誌，Vol. 110, No. 10, pp. 837-844 (1990)

[2] 片井修：人間とシステムの関わり合いと知的支援－チュートリアル－，人工知能学会誌，Vol. 13, No. 3, pp. 339-346 (1998)

[3] J.Grudin：Interactive Systems: Bridging the Gaps Between Developers and Users, *Computer*, Vol.24, No.4, pp.59-69 (1991)

[4] P.Jackson：*Introduction to Expert Systems*, Addison-Wesley (1999)

[5] S.Russell and P.Norvig：*Artificial Intelligence: A Modern Approach*, Prentice Hall (1995)

[6] R.デービス，D.B.レナート：人工知能における知識ベースシステム，啓学出版 (1991)

[7] J.Rasmussen：*Information Processing and Human-Machine Interaction*, Elsevier Science (1986)

[8] 吉田一雄：ヒューマンモデリングの現状と課題，人工知能学会誌，Vol. 13, No. 3, pp. 356-363 (1998)

[9] (社)計測自動制御学会編：ニューロ・ファジイ・ＡＩハンドブック，オーム社 (1994)

[10] 黒田充：生産スケジューリングの現状と研究動向，日本ファジィ学会誌，Vol. 8, No. 5, pp. 784-794 (1996)

[11] J.Boose and B.Gaines (eds.) : *The Foundations of Knowledge Acquisition*, Academic Press (1990)

[12] A. ハート：エキスパートシステムのための知識獲得ハンドブック，啓学出版 (1990)

[13] A.C.Scott, J.E.Clayton, and E.L.Gibson : *A Practical Guide to Knowledge Acquisition*, Addison-Wesley (1991)

[14] 溝口理一郎：エキスパートシステムのための知識獲得ハンドブック，啓学出版 (1990)

[15] B.Chandrasekaran : Generic Tasks in Knowledge-based Reasoning: High-Level Building Blocks for Expert System Design, *IEEE Expert*, Vol.1, No.3, p.23-29 (1986)

[16] S.J.Noronha and V.V.S.Sarma : Knowledge-Based Approaches for Scheduling Problems: A Survey, IEEE Trans. Knowledge and Data Engineering, Vol.3, No.2, pp.160-171 (1991)

[17] M.Numao : Development of A Cooperative Scheduling System for the Steel-making Process, M.Zweben and M.S.Fox (eds.), *Intelligent Scheduling*, pp.607-628, Morgan Kaufmann (1994)

[18] 中野純司，山本由和，岡田雅史：知識ベース重回帰分析支援システム，応用統計学，Vo. 20, No. 1, pp. 11-23 (1991)

[19] 高橋正衛，清水勝人，菊池正幸，池松武彦：高度情報化を目指した火力プラント監視制御システム，日立評論，Vol. 79, No. 3, pp. 29-32 (1997)

[20] N.Baran : The Outlook for Pen Computing, *BYTE*, Vol.17, No.9, pp.159-164 (1992)

[21] D. Marr : *Vision*, Freeman (1982)

[22] R.Rangachar and R.C. Fain : *Computer Vision: Advances & Applications*, IEEE Computer Society Press (1991)

[23] 松原敦，道本健二：ペンコンピュータ普及元年，日経バイト，No. 108, pp. 176-215 (1993)

[24] P.H.Winston and S.A.Shellard: *Artificial Intelligence at MIT Expanding Frontiers Volume 2*, MIT Press (1990)

[25] J.Udell : Windows Meets the Pen, *BYTE*, Vol.17, No.6, pp.159-166 (1992)

[26] Microsoft Corporation : *Guide to Pen Computing: Microsoft Windows for Pen Computing*, Version 1.0 (1992)

[27] 任向実，守屋慎次，森田利広：ペン入力における微細筆記実験—直接方式—，計測自動制御学会第 8 回ヒューマン・インタフェース・シンポジウム論文集，pp. 71-78 (1992)

[28] M.Zweben and M.S.Fox (eds.) : *Intelligent Scheduling*, Morgan Kaufmann (1994)

[29] 薦田憲久，大川剛直，安信千津子：エキスパートシステムの設計と開発，昭晃堂 (1997)

[30] 石塚満，小林重信編：エキスパートシステム，丸善 (1991)

[31] J.Martin: *Rapid Application Development*, Macmillan (1991)

[32] M.Mullin: *Rapid Prototyping for Object-Oriented Systems*, Addison-Wesley (1990)

[33] 石田亨，桑原和宏：プロダクションシステムの高速化技術，情報処理，Vol. 29, No. 5, pp. 467－477 (1988)

[34] 黒沢健一，島田優：コンパイル型プロダクションシステムの高速処理方式，情報処理学会論文誌，Vol. 31, No. 9, pp. 1280-1292 (1990)

[35] 増位庄一，田野俊一：プロダクションシステムの高速化，人工知能学会誌，Vol. 6, No. 1, pp. 38－46 (1991)

[36] R.Itsuki, H.Yajima, H.Mizuno, H.Kinukawa, and N.Komoda : Expert System for Sales Forecast in Mail Order Business, in *Proc. of IFAC LSS'98*, pp.731-736 (1998)

[37] 斎　礼，矢島敬士，増位庄一：変種変量生産におけるスケジューリングエキスパートシステム構築のためのルールベース構造化方法，情報処理学会論文誌，Vol. 33, No. 11, pp. 1314-1321 (1992)

[38] 斎　礼，水野浩孝，矢島敬士，薦田憲久：通販業における需要予測支援のためのエキスパートシステムの開発と評価，電気学会論文誌Ｃ分冊，Vol. 118, No. 2, pp. 242-248 (1998)

[39] R.Itsuki, H.Yajima, H.Mizuno, and H.Kinukawa : Application and Verification of Using Statistical Analysis Tool and Expert System together in Multiple Regression Analysis, in *Proc. of 1996 IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation*, pp.629-635 (1996)

[40] 斎　礼，矢島敬士，広瀬正，薦田憲久：保守／渉外業務支援向け携帯端末用手書きメモ入力システムの開発と配電設備巡視業務への適用，電気学会論文誌Ｃ分冊，Vol. 119, No. 12, pp. 1542-1547 (1999)

[41] R.Itsuki, H.Yajima, and T.Hirose : Interface Design Method for Mobile Information System with Two Types of Communication Channel, in *Proc. of 1997 IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation*, pp.109-114 (1997)

[42] 斎　礼，新崎義雄，広瀬　正：「人と人との交信」のための手書きメモインタフェースシステムの構築，第４８回情報処理学会全国大会，pp. 3-293-3-294 (1994)

[43] 斎　礼，吉村光彦，広瀬　正，矢島敬士：手書きメモインタフェース向け定型／非定型データ融合モデルの一考察，第５５回情報処理学会全国大会，pp. 4-45-4-46 (1997)

[44] C.L.Forgy : Rete: A fast Algorithm for the Many Pattern/Many Object Pattern Match Problem, Artif. Intell., Vol.19, pp.17-37 (1982)

[45] 田野俊一，増位庄一，坂口聖治，舩橋誠壽：知識ベースシステム構築用ツール EUREKA における高速処理方式，情報処理学会論文誌，Vol. 28, No. 12, pp. 1255-1268 (1987)

[46] R. Itsuki, H. Yajima, and S. Masui : High Speed Scheduling by Dividing Knowledge on the Scheduling, in *Proc. of 1990 JAPAN-U.S.A. Symposium on Flexible Automation*, pp.1151-1154 (1990)

[47] 斎　礼，矢島敬士，増位庄一：スケジューリング高速化のための知識分割処理方式，第３９回情報処理学会全国大会，pp. 149-150 (1989)

[48] 斎　礼，矢島敬士，増位庄一：計画知識の分割処理による高速スケジューリング方式，第４０回情報処理学会全国大会，pp. 234-235 (1990)

[49] 斎　礼，矢島敬士，増位庄一：計画知識の分割処理による高速スケジューリング方式，第３３回自動制御連合講演会，pp. 411-412 (1990)

[50] 矢島敬士，斎　礼，奥出　聡，増位庄一：スケジューリングエキスパートシステムにおける制約条件緩和方式，第３３回自動制御連合講演会，pp. 417-418 (1990)

[51] 矢島敬士，斎　礼，奥出　聡，増位庄一：スケジューリングエキスパートシステム構築のための知識構造化法，第３４回システム制御情報学会研究発表講演会，pp. 491-492 (1990)

[52] 斎　礼，矢島敬士，増位庄一：スケジューリングエキスパートシステム高速化のためのルールベース分割方法の提案，平成３年電気学会全国大会，pp. 6-153-6-154 (1991)

[53] 矢島敬士，斎　礼，森　圭子，増位庄一，奥出　聡：スケジューリングエキスパートシステムにおける多属性効用関数を用いた制約条件緩和方式，平成３年電気学会全国大会，pp. 13-28-13-29 (1991)

[54] 田中豊，脇本和昌：多変量統計分析法，現代数学社 (1983)

[55] 佐和隆光，加納悟：回帰分析の実際，新曜社 (1981)

[56] 本多正久：マーケティング調査とデータ分析，産能大学出版部 (1989)

[57] 野口恒：データベース・マーケティング，日本経済新聞社 (1988)

[58] 荒川圭基：データベース・マーケティング，ダイヤモンド社 (1985)

[59] S.Makridakis, S.C.Wheelwright, and V.E.McGee: *Forecasting: Methods and Applications*, John Wiley & Sons (1983)

[60] E.Y.Li : Marketing information systems in the top U.S. companies : A longitudinal analysis, Information & Management, Vol.28, pp.13-31, Elsevier (1995)

[61] D.K.Goldstein : Information support for sales and marketing, Information & Management, Vol.19, No.4, pp.257-268, Elsevier (1990)

[62] 中野純司，山本由和，岡田雅史：知識ベース重回帰分析支援システム，応用統計学，Vo.20，No.1，pp.11-23（1991）

[63] 石井博昭：スケジューリングの近似解法，オペレーションズリサーチ，Vol.31，No.1，pp.26－35（1986）

[64] E.Tsang: *Foundations of Constraint Satisfaction*, Academic Press (1993)

[65] T.E.Morton and D.W.Pentico: *Heuristic Scheduling Systems with Applications to Production Systems and Project Management*, John Willy & Sons (1993)

[66] 伊藤潔，本位田真一：プロトタイピング支援ツール，情報処理学会誌，Vol.30，No.4，pp.387－395（1989）

[67] 谷口洋司，水野浩孝，矢島敬士：広告効果予測のための制約付きニューラルネットワーク学習方式，電気学会論文誌C分冊，Vol.117，No.5，pp.625-630（1997）

[68] D.Milojicic, F.Douglis, and R.Wheeler: *Mobility Processes, Computers, and Agents*, ACM Press (1999)

[69] T.Sakaguchi, R.Itsuki, T.Hirose, and H.Yajima：Multimedia Annotation Functions for Visual Workflow System, in *Proc. of WWDU'97* (*Fifth International Scientific Conference on Work With Display Units*), pp.145-146 (1997)

[70] 村松林太郎：生産管理の基礎，国元書房（1979）

[71] D.P.Miranker：TREAT：A better Match Algorithm for AI Production Systems, in *Proc. of AAAI-87*, pp.42-47 (1987)

[72] 小島保郎，奥出聡，斎礼：ポリエステル樹脂工程スケジューリングエキスパートシステム－日本触媒化学工業株式会社－，日立評論，Vol.72，No.11，pp.83-88（1990）